



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE LA REGIÓN SIERRA**

INGENIERÍA EN ENERGÍAS

RENOVABLES

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL:

Montaje y evaluación de secadores solares móviles de capacidad nominal de 10 a 15 kg. Secadores solares del tipo gabinete con colector solar para el calentamiento de aire integrado.

PRESENTA:

José Ramón Lara Ramos.

ASESOR INTERNO:

M.A.y M.G.P.E. E Marbella Mendoza Sánchez.

ASESOR EXTERNO:

Dr. Octavio García Valladares.

Temixco, Morelos, 2022.



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



IER
Instituto de Energías
Renovables



Agradecimientos.

A Dios por ayudarme a cumplir esta meta

A mi tío: Dr. José Luis Lara Osorio. (QEPD)

A mis padres: Petrona Ramos Arceo y Jesús Lara Osorio.

A mis hermanos: Jesús Manuel y David Fernando.

A mi novia: Nallely López Salas.

A mis tíos: Paula, Gamaliel, Pedro, Adriana.

A mis primos: Gamaliel y Rosita.

A mi maestra Marbella Mendoza Sánchez por el conocimiento brindado en mi estancia en la institución.

Deseo expresar en estas líneas todo mi agradecimiento a las personas que sin su colaboración no hubiera sido posible la realización de esta estancia profesional.

A mis compañeros de residencia profesional Jesús Gabriel y José Víctor.

Al Dr. Octavio García Valladares por su dirección y todo el conocimiento brindado en el periodo de la estancia.

Al proyecto del CONACyT 319188 “Centro comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan, Morelos”.

Resumen

El presente trabajo describe el montaje y la evaluación de secadores solares móviles con capacidad de 10 a 15 kg, del tipo gabinete con colector solar para calentamiento de aire integrado, con el objetivo de tener una mayor eficiencia en el secado solar de alimentos. Primero se armó el diseño del secador el cual cuenta con partes móviles para facilitar su uso y transporte, una vez armado, para su evaluación se utilizaron instrumentos de medición de última generación, como lo son sensores de temperatura, sensores de radiación e instrumentos de medición de flujos de aire. Para tener unas mediciones sin ruido, se utilizaron 32 sensores de temperatura, los cuales ayudaron a medir temperatura ambiente, temperatura de entrada del colector, temperatura de salida del colector y el comportamiento en cada una de las bandejas que conforman la cámara de secado, dos piranómetros, uno en el plano del colector para medir la irradiancia global y otro de forma vertical para medir la irradiancia global que entra por la pared vertical del gabinete, ambos controlados mediante el software Agilent Vee Pro; el cual nos muestra la temperatura en tiempo real y nos guarda los datos para un posterior análisis y creación de gráficas para su interpretación. Para la prueba y la evaluación con carga del secador se introdujeron charolas con 500 ml de agua, el total de charolas dentro del secador fue de 10 charolas, buscando así obtener la eficiencia del colector solar y la eficiencia de secado con una forma más fácil utilizando la evaporación del agua (el uso de charolas facilita y nos brinda una mejor interpretación de los datos en la evaluación y los resultados de cada prueba), al término de cada prueba se medía el sobrante de agua para calcular la masa evaporada, finalmente se obtuvieron las eficiencias del colector más altas de 31% en el colector y 20% en la eficiencia de secado.

Índice

Agradecimientos.	2
Resumen.....	3
Índice.....	4
Capítulo 1. Generalidades del proyecto.	8
1.1 Introducción.	8
1.2 Descripción De La Institución.	9
1.3 Problemas A Resolver.....	10
1.4. Objetivos	11
1.4.1 General	11
1.4.2 Específicos	11
1.5 Justificación.....	12
Capítulo 2. Marco Teórico.	13
2.1. El sol.	13
2.2. Energía Solar.....	13
2.2.1 Constante Solar.	13
2.3. Radiación Solar.	14
2.3.1 Ley de Steffan-Boltzman.	14
2.3.2 Radiación directa.....	14

2.3.3 Radiación difusa.....	15
2.3.4 Radiación reflejada.....	15
2.3.5 Radiación total.	15
2.4. Geometría Solar.	15
2.4.1. Declinación solar.....	16
2.4.2. Angulo de incidencia(θ).....	16
2.4.3. Altura solar.....	17
2.4.4. Altura de culminación.	17
2.4.5. Orto y ocaso solar.....	17
2.4.6. Angulo de inclinación.	17
2.4.7 Angulo azimut.....	18
2.4.8. Latitud y longitud.....	18
2.5 Propiedades de la radiación.....	18
2.5.1 Emisividad.	18
2.5.2 Absortividad.....	18
2.5.3 Transmitancia y Reflectancia.....	18
2.6 Secado solar.	19
2.7 Secadores Solares.....	19
2.7.1 Colector solar.	19
2.7.2 Captador solar para el calentamiento directo de aire, CSCAi.....	20

2.7.3 Captadores solares para el calentamiento de aire.....	22
2.7.3 Cámara de secado.....	23
2.8. Secadores del mercado.....	23
2.8.1 Secador flujo concurrente.	23
2.8.2 Secador horizontal.....	24
2.9 Secadores Solares.....	25
2.9.1 Secador de gabinete.....	25
2.9.2 Secador tipo casa de campaña.....	26
2.9.3 Secador solar directo.....	26
2.9.4 Secador solar indirecto.....	27
2.9.5 Por circulación de aire.....	28
2.9.5.1 Convección forzada.....	28
2.9.5.2 Convección natural.....	29
3. Sistema adquisidor de datos.....	30
3.1 Agilent Vee Pro.....	30
3.2 Adquisidor de datos.	30
3.3. Software de cálculo.....	31
4. Instrumentos de medición.....	32
4.1 Anemómetro.....	32
4.2 Piranómetro de primera clase.....	33

4.3 Sensor de temperatura tipo PT1000	33
4.4 Calibrador de temperatura.....	34
4.5 Norma ISO9806-2017.....	34
Capítulo 3. Desarrollo.	35
3.1 Metodología.	35
3. 2 Montaje.	35
3.3 Calibración de instrumentos.....	39
3.4 Instrumentación.....	42
3.4 Interfaz del software.....	44
3.5 Características generales.	48
3.6 Pruebas de secado.	52
Capítulo 4. Resultados.	53
4.1 Análisis del colector solar día 1.	53
4.2 Análisis del colector solar día 2.	57
4.2 Conclusiones.	61
4.3 Competencias Desarrolladas Y Aplicadas.	62
4.3.1 Talleres educativos e impacto en los educandos.....	62
4.3.2. Instrumentación de equipos.....	64
Fuentes de información.	65

Capítulo 1. Generalidades del proyecto.

1.1 Introducción.

A nivel nacional el desperdicio y la merma de productos frutícolas es un problema que no se ha evitado, la mayoría de los agricultores buscan disminuir pérdidas en sus cosechas, con el objetivo de evitar esta acción. En México se desperdician más de 10 mil toneladas de alimentos al año, que representan el 37 por ciento de la producción agropecuaria en el país (Secretaría del bienestar, 2013). El secado es uno de los métodos más antiguos, antiguos y comúnmente usado para preservar y extender la vida útil de productos agrícolas, tales como granos, verduras, frutas y otros productos (Saber Chemkhi, 2004). Las ventajas de los secadores solares son muchas, aunque el principal argumento en su contra es el alto costo inicial para su construcción, equipo auxiliar y personal de operación. Se puede enumerar como ventajas: elevada cantidad de energía por unidad de tiempo disponible para evaporación, control en el proceso de deshidratación, no exposición del producto a la intemperie, incremento en la productividad, posibilidad de uso en distintos productos. No existe un método estándar aceptado mundialmente para la evaluación del comportamiento térmico de los secaderos solares (Luis E. Mealla Sánchez, 2018). Por tanto, esta investigación tiene como objetivo el montaje y la evaluación de secadores solares móviles con capacidad de 10 a 15 kg, secadores del tipo gabinete con colector solar para calentamiento de aire integrado, donde se empleó fórmulas de eficiencia de colectores de aire y secadores solares. Se realizaron evaluaciones con charolas de agua (con carga) dentro del prototipo, de esta manera se obtuvieron las eficiencias del secado como del colector, para evaluar su rendimiento.

1.2 Descripción De La Institución.

El Instituto de Energías Renovables Campus Morelos tiene la misión de realizar investigación científica básica y aplicada en energía, con énfasis en energías renovables, que coadyuven al desarrollo de tecnologías energéticas sustentables; llevar a cabo estudios, asesorías y capacitación a los distintos sectores de la sociedad; formar recursos humanos especializados, y difundir los conocimientos adquiridos para el beneficio del país. Somos un referente nacional y la principal institución de México activa en la investigación, innovación, divulgación y formación de especialistas en tecnologías energéticas sustentables.

Forma parte del Campus Morelos de la UNAM, está ubicado en la ciudad de Temixco, Morelos. Surge como Instituto en enero del 2013 como una transformación del Centro de Investigación en Energía (CIE) y pertenece al Subsistema de la Investigación Científica de la UNAM.

1.3 Problemas A Resolver.

En los últimos años la humanidad afronta una escasez de alimentos por la contaminación y deforestación de recursos naturales. Siendo nuestro país potencia agrícola surge la necesidad de poder deshidratar alimentos para su conservación y evitar pérdidas en desperdicios los cuales pueden afrontar la falta de comida en lugares marginados, mediante deshidratadores solares tipo gabinete. Teniendo un valor agregado y aprovechamientos de materia prima para un posterior uso, minimizando la contaminación microbiana, contaminación ambiental y cambios físicos y químicos. Se busca estudiar los efectos causados por el secado solar en frutas y hierbas aromáticas, así como optimizar el proceso de secado con ayuda de curvas de temperatura. (FAO, 2011)

Las razones por las que se pierde o desperdicia un alimento son variadas: el mal tiempo, los problemas de procesamiento, la sobreproducción y los mercados inestables provocan la pérdida de alimentos mucho antes de que lleguen a las tiendas, mientras que la sobrecompra, la mala planificación y la confusión sobre las etiquetas contribuyen al desperdicio de alimentos en las tiendas y en los hogares. (Consumidor, 2022)

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los alimentos que nunca se consumen representan un desperdicio de recursos, como tierra, agua, energía, suelo, semillas y otros insumos utilizados en su producción. Y no lo es todo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) calcula que entre el 8 % y el 10 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero están asociadas a alimentos que nunca se consumieron. (UNEP, 2021)

1.4. Objetivos

1.4.1 General

- Montar y evaluar secadores solares móviles con capacidad de 10 a 15 kg, del tipo gabinete con colector solar para calentamiento de aire integrado.

1.4.2 Específicos

- Montar secadores solares móviles con capacidad de 10 a 15 kg.
- Evaluación del secador solar móvil.
- Caracterizar experimentalmente el sistema de deshidratación para determinar sus parámetros de operación y eficiencias energética.

1.5 Justificación

Según la ODS el objetivo número 7, menciona la relación de crecimiento de las energías renovables, para una mejor condición de desarrollo humano, social y económico; es necesario que la energía sea sostenible para que permita un desarrollo sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. (Moran y Jara, 2020)

Mediante el montaje y la evaluación de los secadores solares móviles se podrán disminuir las pérdidas o mermas (en la cosecha o rezago de ventas) de frutas, al igual en el secado de hierbas aromáticas. Dándole un valor agregado al producto y más tiempo de vida (a comparación de la fruta fresca), así mismo se busca conseguir una buena técnica o mejora en el proceso de secado con un producto de calidad e inocuo con buena aceptación en el mercado nacional. Por lo tanto, es necesario implementar el uso de fuentes renovables de energías; la energía solar es una de ellas, inagotable e intermitente, la cual ofrece la posibilidad de implementarse en distintos procesos, siendo el secado de distintas materias primas consumibles una de sus múltiples aplicaciones. Las frutas deshidratadas son una opción a la problemática de pérdidas de cosechas debido a la falta de valor agregado en la producción frutícola.

Estos alimentos pueden conservarse secos hasta por un año sin perder sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas. La deshidratación solar es una alternativa renovable para la microindustria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas. El secado de frutas resulta ser uno de los métodos de conservación más eficientes para comunidades rurales, ocupada para comercialización, conservación o consumo propio. (UNAM, 2020)

Capítulo 2. Marco Teórico.

2.1. El sol.

El Sol es una estrella enorme. Con un diámetro de 1.4 millones de kilómetros podría albergar a 109 planetas Tierra en su superficie. Si fuera hueco, más de un millón de Tierras podrían vivir en su interior, pero no lo es. Está relleno de gases calientes que representan más del 99.8 por ciento de la masa total del sistema solar. La temperatura alcanza los 5500 grados centígrados en la superficie y más de 15.5 millones de grados centígrados en el núcleo (Geographic, 2022)

En el núcleo del Sol, se producen reacciones de fusión en las que el hidrógeno se transforma en helio, que genera la energía. Unas pequeñas partículas de luz llamadas fotones transportan esta energía a través de la zona radiante hasta la capa superior del interior del Sol, la zona convectiva. Ahí, el movimiento de los gases hirviendo (como en una lámpara de lava) lleva la energía a la superficie. Este viaje dura más de un millón de años. (Geographic, 2022)

2.2. Energía Solar.

La energía solar es una energía renovable obtenida a partir de la radiación electromagnética del Sol. Se trata de una energía renovable porque se obtiene de una fuente natural e inagotable, en este caso el Sol. (Energía F. , 2021)

El sol es la principal fuente de energía y sustento de todos los procesos que se llevan a cabo en nuestro planeta Tierra. Su energía deriva de una serie de reacciones de fusión nuclear que se llevan a cabo en su interior, resultado de este proceso, el sol. (Energía C. N., 2017)

2.2.1 Constante Solar.

Es aquella energía radiante por unidad de tiempo y de área que se recibe perpendicularmente a la dirección de los rayos solares en el exterior de la atmósfera terrestre a la distancia media Sol-Tierra. (Futura, 2010)

2.3. Radiación Solar.

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar. (IDAEM, 2020)

La radiación solar es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis, mediante el cual producen materia vegetal creciendo y desarrollándose. Parte de esta materia vegetal es el producto cosechado del cultivo (sea fruto, hoja, tallo o raíz). Así, existe una relación directa entre la cantidad de radiación solar que un cultivo ha recibido (suele medirse en horas de sol, como primera aproximación) y la cosecha que podemos obtener de él si lo cultivamos correctamente. (Cockshull, 1989)

2.3.1 Ley de Steffan-Boltzman.

Al flujo total de energía radiante que emite un cuerpo negro en todo el espectro a una temperatura absoluta T se determina integrando la distribución de Planck para todas las longitudes de onda, cuyo resultado se conoce como la Ley de Stefan-Boltzmann. Siendo $5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \text{ K}^4\text{]}$ la Constante de Stefan-Boltzmann. Esta última ley es de gran utilidad, y de su análisis se deduce que el flujo de radiación es directamente proporcional a su temperatura absoluta elevada a la 4ª potencia. Así un cuerpo negro a 6250 °K (por ejemplo, el Sol) emitiría 86,106 W/m², y a una temperatura ambiental de 300 °K (27°C) emitiría 460 W/m². (educación, 2022)

2.3.2 Radiación directa.

Esta radiación solar llega a la superficie de la Tierra, sin cambios de dirección. (IDAEM, 2020)

2.3.3 Radiación difusa.

Es definida como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera diferente de la radiación solar directa. (IDAEM, 2020)

Se considera a esta como la que proviene de la atmósfera, por dispersión de parte de la radiación solar en ella. En los días más soleados sin presencia de nubosidades este tipo de radiación puede suponer aproximadamente el 15% del global, pero en los días nublados en los que se reduce la cantidad de radiación directa este tipo de radiación aumenta de manera considerable. (Eficiente, 2014)

2.3.4 Radiación reflejada.

Es aquella que refleja la superficie terrestre, no toda la radiación que nos llega desde el sol es absorbida por la superficie, sino que parte de ella es desviada. A esta cantidad de radiación que es desviada desde la superficie se le conoce con el nombre de albedo. (Portillo, 2020)

El albedo es la propiedad que tiene cualquier cuerpo de reflejar una radiación incidente. Cuanto más claro es la superficie de un cuerpo, más capacidad de reflejar la radiación incidente y, por tanto, mayor es su albedo. Aplicado a la superficie de la Tierra, cuanto más albedo, mayor energía refleja al espacio y menor temperatura retiene. (Channel, 2017)

2.3.5 Radiación total.

Se puede decir que es la radiación total que existe en el planeta. Es la suma de las 3 radiaciones nombradas anteriormente. (Portillo, 2020)

2.4. Geometría Solar.

La geometría solar se trata de los recorridos que hace el sol en el cielo terrestre de forma aparente. Además, comprende su localización en distintas fechas y horas en el año para predecir

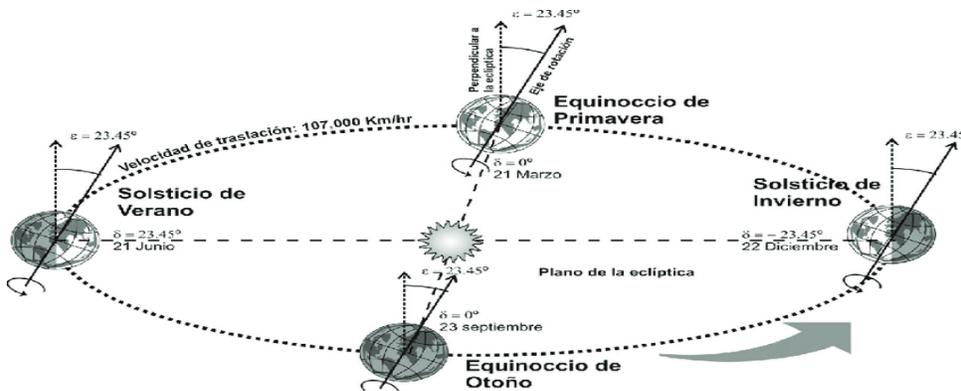
la interacción que tiene con los planos y los volúmenes en el espacio, todo ello en función de su ubicación relativa. (Manzo, 2022)

2.4.1. Declinación solar.

Rogelio Meléndez define a la declinación solar como ángulo que los rayos del Sol forman con el plano del Ecuador en un instante dado medido en un plano que pase por un meridiano terrestre. La declinación solar varía continuamente a lo largo del año. Es máxima en los solsticios y nula en los equinoccios. En los solsticios, aunque es máxima (23.5° a efectos prácticos) es de signo contrario en cada solsticio. En el solsticio de junio los rayos del Sol inciden sobre el plano del Ecuador “por la parte de arriba”, mientras que en el verano lo hacen “por la parte de abajo” y también con igual magnitud. (23.5°). (Meléndez, 2019)

Figura 1.

Representación de la declinación de la Tierra en diferentes temporadas del año.



Nota. Posición relativa del plano del Ecuador y de la eclíptica que define la declinación solar. (Martínez y Azpeitia, 2015)

2.4.2. Angulo de incidencia(θ).

Este ángulo depende de la posición del sol en relación con una determinada posición de la superficie terrestre en un determinado momento del año. Un panel solar fotovoltaico puede ocupar

cualquier posición sobre la superficie terrestre, lo que hace que el ángulo de incidencia cambie notablemente. Algunos factores que hacen cambiar este ángulo son: la declinación, la latitud geográfica, inclinación, orientación (arquitectura) y el ángulo horario. (Electrico, 2021)

2.4.3. *Altura solar.*

La altura solar α (también llamada elevación solar) es la altura angular del sol sobre el horizonte celestial del observador. Este es un ángulo que varía entre 0° y 90° . La altura solar es el complemento del ángulo cenital. (Mella, 2005)

2.4.4. *Altura de culminación.*

Cualquier astro va aumentando gradualmente su altura hasta alcanzar el valor máximo en el instante de cruzar el meridiano del lugar, conocido como tránsito o culminación superior. Dicho meridiano es la proyección en la esfera celeste del meridiano geográfico del observador, y su intersección con el Horizonte determina los puntos cardinales Norte y Sur. Para los habitantes del hemisferio sur, el tránsito de todos los objetos celestes es en la dirección Norte, para los del hemisferio norte es en la dirección Sur. Posteriormente, el astro va disminuyendo gradualmente su altura hasta su puesta. (SHN, 2022)

2.4.5. *Orto y ocaso solar.*

El número de horas de sol, para cada día del año, se puede determinar a partir de la hora de salida y puesta del sol, siendo éstas de igual valor y de signo contrario ($+\omega_s$ y $-\omega_s$). (Pereira, 2018)

2.4.6. *Angulo de inclinación.*

Es el ángulo entre el plano de la superficie en cuestión y la horizontal; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.

2.4.7 Angulo azimut.

El azimut solar es el ángulo formado por el meridiano solar y el meridiano del lugar (Sur en el hemisferio Norte y Norte en el hemisferio Sur). Este ángulo es cero en el mediodía solar, negativo por la mañana y positivo por la tarde. (Lambigueiro, 2013)

2.4.8. Latitud y longitud.

La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el Ecuador. Las líneas de latitud se llaman paralelos y son círculos paralelos al Ecuador en la superficie de la Tierra.

La longitud es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto. (Geometria Solar , s.f.)

2.5 Propiedades de la radiación.

2.5.1 Emisividad.

La emisividad es la medición de la capacidad de un objeto de emitir energía infrarroja. El valor de la emisividad se calcula por la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno. (Instrumens, 2019)

2.5.2 Absortividad.

Propiedad óptica del material para absorber el espectro UV-visible-NIR de la irradiancia solar incidente sobre la superficie terrestre. En forma más general, propiedad que tiene un material para absorber una fracción de la energía incidente sobre él. (Almanza, 2016)

2.5.3 Transmitancia y Reflectancia.

Reflectancia: es la razón de la luz reflejada respecto a la luz incidente, bajo condiciones geométricas específicas. Transmitancia: es la razón de la luz transmitida respecto a la luz incidente, bajo condiciones geométricas específicas. (M. Ibanez-Porras, 5)

2.6 Secado solar.

Se entiende por secado de los alimentos a la extracción deliberada del agua que contienen. El contenido original del agua de los productos agrícolas varía entre el 30% y el 90% de la masa; mediante los procesos de deshidratado, el contenido de agua es reducido a un porcentaje entre el 8 y el 16%. (Tania Vázquez, 1997)

2.7 Secadores Solares.

Los secadores solares se utilizan para eliminar el contenido de humedad de cultivos, vegetales y frutas. El secador solar consiste en una caja construida con materiales de fácil acceso. La superficie superior de la secadora está cubierta por láminas transparentes de una y dos capas. La superficie interior es de color negro para absorber la radiación solar entrante. Dado que la caja está aislada, la temperatura interior de la caja aumenta. El aire se ventila a través de los pequeños orificios en la parte superior de la caja. A medida que el aire interior se calienta, sube por el proceso de circulación natural y elimina la humedad de las frutas, verduras y cultivos colocados en bandejas dentro de la caja. Para llenar el vacío, entra aire fresco mediante un proceso de tiro forzado y el proceso continúa. (Fazal, 2021)

2.7.1 Colector solar.

Los colectores de aire utilizan aire para transportar el calor. Los diferentes tipos de colector utilizan tubos cubiertos, sin cubrir o de vacío para coleccionar el calor aprovechable. Se basan en la convección o utilizan ventiladores para transportar el aire a través de un sistema de tubos bien aislado. En los procesos industriales los colectores de aire son convenientes para procesos de secado, suministrando aire caliente con temperaturas de hasta 100°C. (Solar, 2021)

2.7.2 Captador solar para el calentamiento directo de aire, CSCAi

El CSCAi de tipo directo incluye prácticamente los mismos elementos que el de calentamiento de agua: una superficie absorbedora, una o varias cubiertas transparentes, ductos en donde circula el aire y un aislamiento térmico conductivo. (Pilatowsky y Valladares, 2017)

2.7.2.1 Componentes y materiales.

2.7.2.1.2 Superficie absorbedora.

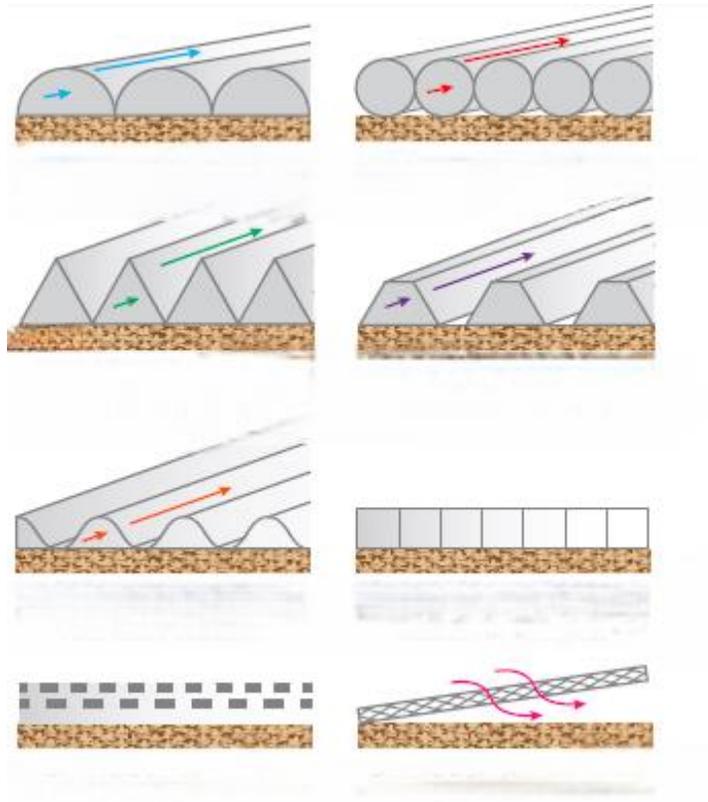
La superficie absorbedora, o el absorbedor, es el componente principal de cualquier termoconvertor solar, ya que debe presentar una alta absorción de la radiación de onda corta, como el caso de un recubrimiento con una pintura de tono oscuro (no necesariamente negra, ya que el efecto de otros colores oscuros es muy similar) (ver Figura 2). (Pilatowsky y Valladares, 2017)

2.7.2.1.3 Cubierta transparente.

La cubierta transparente más adecuada por costo y durabilidad es el vidrio, normal o templado, cuya alta transparencia se determina por un bajo contenido de fierro. Pueden utilizarse plásticos como el policarbonato en placa, o en una o más capas, o el acrílico; sin embargo, este último se debilita con el tiempo, por lo que puede fracturarse con algún impacto. Además, los materiales plásticos suelen verse afectados por la radiación ultravioleta (UV) o por fuertes variaciones de temperatura, por lo que deben estar protegidos de la contaminación ambiental, de la condensación y de las altas humedades relativas. (Pilatowsky y Valladares, 2017)

Figura 2.

Diversas formas de la superficie absorbedora.



Nota. En la figura anterior se muestran los tipos de absorbedores como lo son el absorbedor medio cilindro, absorbedor cilíndrico, absorbedor triangular, absorbedor trapezoidal, absorbedor ondulado, absorbedor cuadrado o rectangular, absorbedor perforado de una o dos placas, Absorbedor con matriz (metal, plástico, tela, etc.). (Pilatosky y Valladares, 2017)

2.7.2.1.3 Aislamiento térmico.

Para evitar pérdidas de temperatura se utiliza aislamientos térmicos siendo los de mejores propiedades las espumas plásticas, aunque deben protegerse de la exposición directa a la radiación ultravioleta y en algunos casos de las altas temperaturas para evitar su fusión, y fuga de gases. En

el caso de las fibras vegetales o minerales, hay que evitar que se humedezcan ya que el agua disminuye el efecto aislante. (Pilatosky y Valladares, 2017)

2.7.2.1.3 Sellos.

La función principal de los sellos es evitar la introducción del agua y las fugas de aire, para poder garantizar un sellado hermético entre la superficie transparente y la estructura del captador, es necesario que estos sellos sean elásticos, por ejemplo, el silicón. (Pilatosky y Valladares, 2017)

2.7.2.1.4 Filtros.

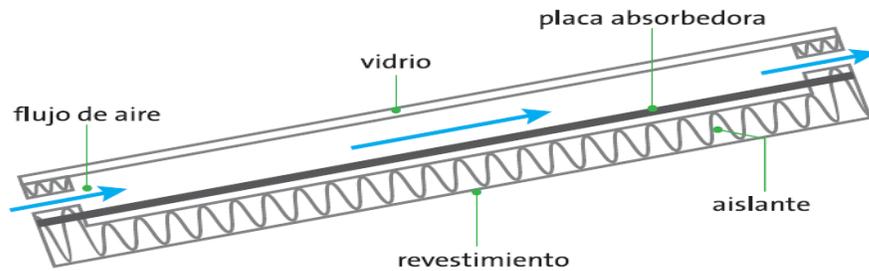
La integración de filtros es necesario para los sistemas de calentamiento solar, que operan con aire del ambiente, para poder limitar el acceso a partículas, insectos y sustancia nocivas que pudieran contaminar productores orgánicos. (Pilatosky y Valladares, 2017)

2.7.3 Captadores solares para el calentamiento de aire.

Son captadores solares cuyo fluido de trabajo es el aire en lugar del agua, pero constan básicamente de las mismas partes que los captadores de agua con la única diferencia que en general utilizan conductos más grandes ya que requieren pasar un mucho mayor volumen de aire comparado con los que utilizan agua. Hay muchas aplicaciones basadas en el acondicionamiento térmico de espacios (secado de alimentos, incubación, agricultura protegida, salas climatizadas, calentamiento de espacios habitacionales y laborales), en las cuales el aire puede calentarse de manera directa. Existen diferentes formas de las trayectorias del flujo de aire, las más comunes son las siguientes: el aire pasa entre la cubierta transparente y el absorbedor, el flujo de aire pasa por debajo del absorbedor y entre el aislamiento térmico, el aire fluye a ambos lados del absorbedor, el aire pasa a través de un absorbedor tipo poroso o perforado (ver Figura 3). (Valladares, 2020)

Figura 3.

Estructura de un colector solar para calentamiento de aire.



Nota. Circulación del aire entre el absorbedor y el aislamiento térmico. (Pilatosky y Valladares, 2017)

2.7.3 Cámara de secado.

La cámara de secado es donde se coloca el producto o materia prima a deshidratar mediante el flujo de aire caliente que proviene del colector solar mediante convección natural por cambio de densidad del aire o por convección forzada usando un ventilador antes o después del secador para la succión del aire. (Valles, 2006)

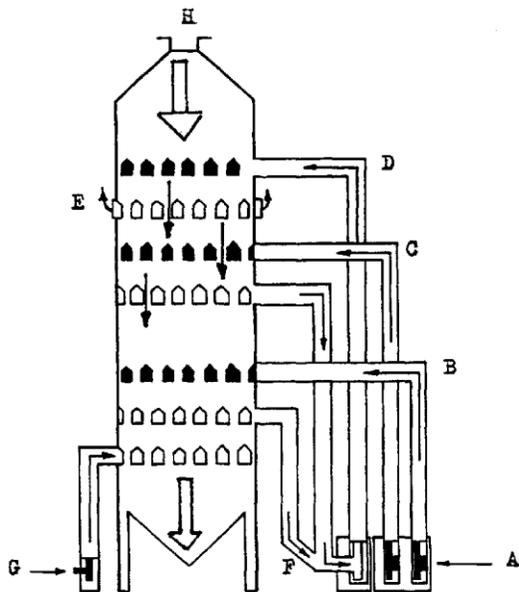
2.8. Secadores del mercado.

2.8.1 Secador flujo concurrente.

Este tipo de secador, la materia prima y el aire de secado fluyen en la misma dirección y sentido. De esta forma el aire caliente se encuentra con grano frío y húmedo, pero la transferencia de calor y humedad que tiene lugar asegura que la temperatura del grano no alcance la temperatura del aire de entrada y que descienda rápidamente. Este diseño tiene la ventaja que se pueden emplear muy altas temperaturas del aire, que originan altas velocidades de secado sin sobrecalentar el grano. Se ha comprobado también que el consumo específico de energía se encuentra entre 3.55 Mj/kg y 3.7 Mj/kg de agua evaporada, que significa una buena eficiencia térmica (ver Figura 4). (FAO, El problema de la humedad, Tipos de secadoras, energía y combustión., 1991)

Figura 4.

Estructura total de un secador de flujo concurrente.



Nota: Esquema de secadora de flujos concurrentes, de tres etapas de secado y enfriamiento por flujo contracorriente. (FAO, El problema de la humedad, Tipos de secadoras, energía y combustión., 1991)

2.8.2 Secador horizontal.

Los secadores horizontales son muy populares en la industria, caben en edificios con techo bajo y el mantenimiento puede hacerse desde el piso. Los pasos múltiples permiten el uso de un área menor y a través de los años estos secadores han mejorado; han incrementado las temperaturas de las zonas, cambiado sus patrones de flujo, mejoras a las puertas de acceso, lo que ha permitido que cuando están correctamente ajustados se obtenga una diferencia de humedad de 0.5%. Estas

mediciones de uniformidad del secador son tomadas a la descarga final del secador. (Ramírez, 2007)

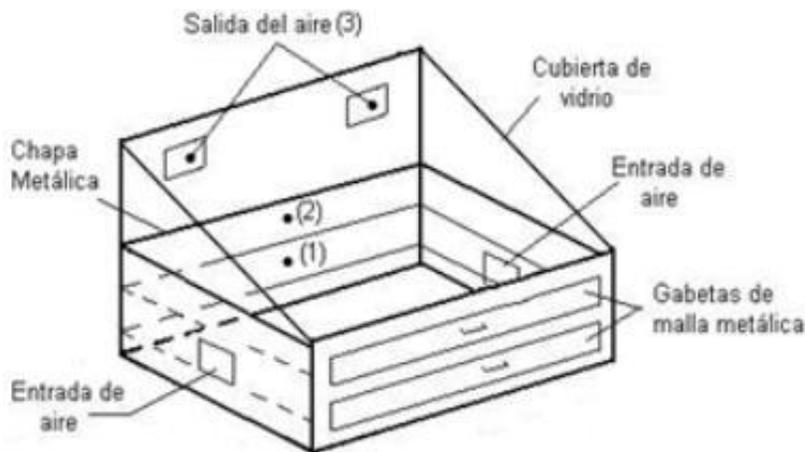
2.9 Secadores Solares.

2.9.1 Secador de gabinete.

El diseño de este tipo de secadora consiste en un cajón rectangular con un techo de vidrio el interior de la caja se pinta de negro, tanto las paredes como el piso cuentan con un material aislante para aumentar el grado de calor, la circulación del aire es de tipo natural entrando por los agujero en el piso y saliendo por los agujeros en la parte de arriba, como se muestra en la Figura 5 el aire entra por los orificios de la parte frontal y sale a través de la parte posterior del cajón. (Espinoza, 2012)

Figura 5.

Secador solar de tipo gabinete.



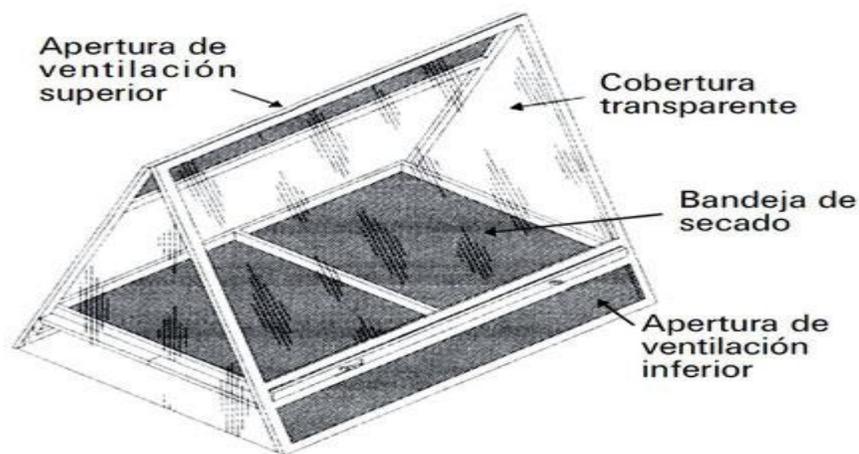
Nota: Esquema del secador y puntos de ubicación de los termopares, (1) temperatura en la bandeja inferior, (2) temperatura en la bandeja inferior, (3) temperatura a la salida del secador. (M Sc. Ronald Andión Torres, 2012)

2.9.2 Secador tipo casa de campaña.

Este tipo de secadora es uno de los modelos más básicos que existen, su estructura tiene la forma de una tienda de campaña en la cual el producto a secarse se coloca en el interior, para un mejor rendimiento el piso es de color oscuro y sus paredes son de plástico el control de temperatura se las hace abriendo o cerrando las aberturas laterales que posee (ver Figura 6). (Espinoza, 2012)

Figura 6.

Estructura de un secador solar tipo casa de campaña.



Nota: Consiste en una sencilla estructura de metal o madera en forma de carpa triangular cubierta de plástico transparente. Tiene dos aberturas de ventilación, de forma que el aire entra por la inferior, se calienta en el interior y sale por la superior. Los alimentos se colocan en bandejas para su secado. (SUNY, 2020)

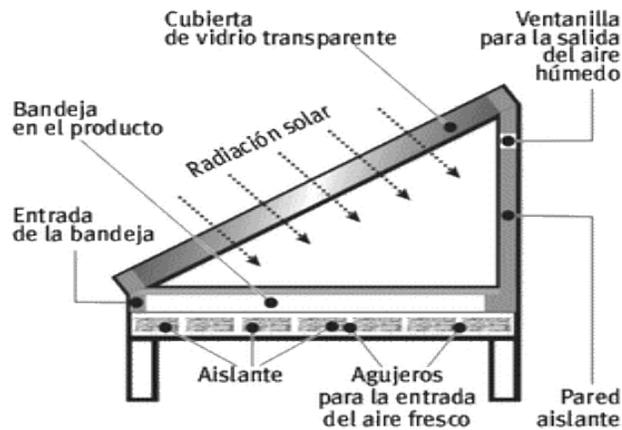
2.9.3 Secador solar directo.

En estos tipos de secadores el producto está en una cámara bastante hermética y recibe directamente la radiación solar. Al absorber la misma, su temperatura sube, aumentando la presión de vapor del agua del producto y el aire remueve la humedad. Al haber poca circulación de aire, las temperaturas tienden a subir mucho y es probable que se produzca deterioro del producto. Si este tipo de secadores son muy simples, tienen el inconveniente de cargar poco producto y entregar

una calidad dudosa. Es muy probable que el producto se queme (ver Figura 7). (ESTRATÉGICOS, 2020)

Figura 7.

Estructura y partes de un secador solar



Nota: Esquema de operación de un secador solar. (Jardon, 2021)

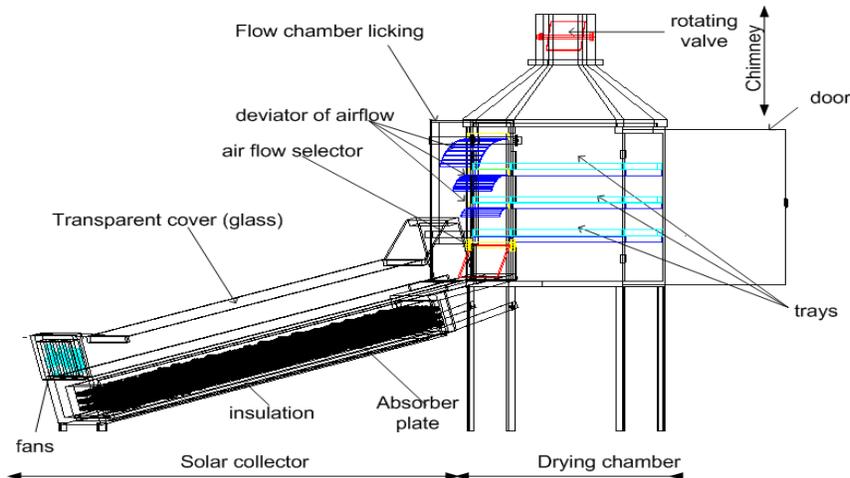
2.9.4 Secador solar indirecto.

En este tipo de secadores en los alimentos a secar no se exponen directamente a la radiación solar, por lo que quedan protegidos de los efectos nocivos de los rayos UV. El secado se realiza indirectamente por convección entre el aire calentado y los productos a secar (ver Figura 8).

(Mahesh Kumar, 2016)

Figura 8.

Estructura de un secador solar indirecto y sus partes.



Nota: (Mahesh Kumar, 2016)

2.9.5 Por circulación de aire.

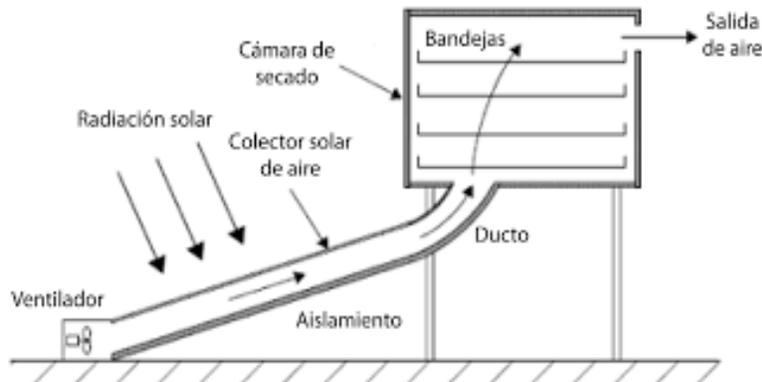
El aire circula dentro del secador con el objetivo de eliminar la humedad del producto. Esta circulación se logra por los siguientes métodos:

2.9.5.1 Convección forzada.

En este tipo de circulación el aire es movido por un ventilador que se alimenta por energía mecánica o eléctrica. En este tipo de circulación se facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Utilizando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica (ver Figura 9). (Torres., 2011)

Figura 9.

Estructura y componentes de un secador solar de convección forzada.



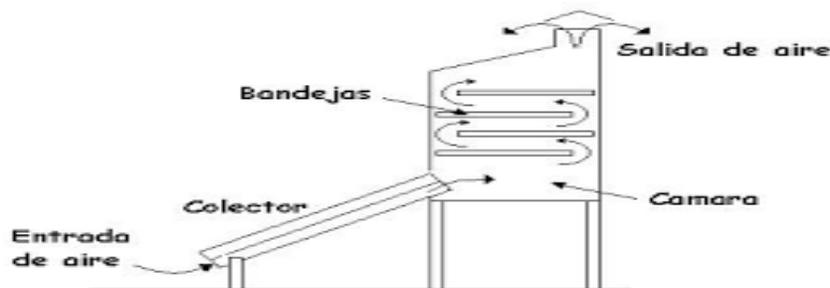
Nota: Disposición constructiva de un deshidratador activo de tipo distribuido. (Luis Eduardo García, 2012)

2.9.5.2 Convección natural.

En este tipo de circulación el aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. En este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes. En equipos pequeños o medianos se puede lograr velocidades de aire de 0.4 a 1 m/s al interior de la cámara, pero en equipos grandes esta velocidad no sobrepasa los 0.1 a 0.3 m/s (ver Figura 10). (Torres., 2011)

Figura 10.

Comportamiento del aire dentro de un secador solar por convección natural.



Nota: Secador solar indirecto. (Magem, 2000)

3. Sistema adquirente de datos.

Los sistemas de adquisición de datos, como el nombre da a entender, son productos o procesos que se usan para recoger información para documentar o analizar un fenómeno. Los productos de adquisición de datos sirven como un punto focal en un sistema, pues reúnen una amplia variedad de productos, como sensores que indican temperatura, flujo, nivel o presión, etc. (Instruments, s.f.)

3.1 Agilent Vee Pro.

Agilent VEE Pro (Visual Engineering Environment) es un ambiente de programación gráfico diseñado específicamente para aplicaciones de pruebas y medición. Está diseñado con el propósito de reducir tiempos, ya que ofrece formas de conectar instrumentos, realizar mediciones, desplegar y reportar datos automatizando los procesos de medición y prueba. Tiene la capacidad de comunicación entre equipos por medio de los puertos: GPIB (General Purpose Interface Bus), LAN (Local Area Network), USB (Universal Serial Bus), RS-232 (Recommended Standard 232), VXI (VME bus Extensions for Instrumentation) y otras interfaces o buses. Debido a que el lenguaje Agilent VEE Pro es un ambiente gráfico la programación de la interfaz para el control remoto no fue complicada sólo bastó con revisar el Manual de Programación y hacer consulta de las demostraciones de utilización del lenguaje; así como la revisión de ejemplos para implementar correctamente el flujo del programa y la ejecución de las instrucciones de control en el momento adecuado. (Puebla). El software utilizado fue Agilent VEE Pro con número de licencia **3C37-VC4K-KIKK-K9F2-VFT4-W92**. (Pro, 2018)

3.2 Adquirente de datos.

La unidad de conmutación DAQ 34972A (ver Figura 11) combina la simplicidad de la interfaz de usuario con un bajo coste por canal, flexibilidad modular y un rendimiento de medición

impresionante. Gracias a su gran versatilidad, puede usarse como un sistema de conmutación y de adquisición y registrador de datos. Mide y convierte la temperatura con termopares, RTD y termistores, tensión DC y AC, resistencia de 2 y 4 hilos, frecuencia y período y corriente DC y AC. Cada canal es configurable de manera independiente. La función integrada de acondicionamiento de la señal permite al usuario medir 11 funciones diferentes sin el coste añadido ni la necesidad de tener que usar accesorios específicos externos. Con un énfasis en la flexibilidad, el DAQ 34972A también permite al usuario especificar las funciones de medición por canal individual y aprovechar las unidades de software definidas por el usuario, la escala $Mx + B$ y los límites de alarma. (Technologies, 2021)

Figura 11.

Adquisidor de datos Agilent Instruments KEYSIGHT.



Nota: (Soluciones Industriales, 2014)

3.3. Software de cálculo.

Excel es una hoja de cálculo que nos permite manipular datos numéricos y de texto en tablas formadas por la unión de filas y columnas. Una hoja de cálculo es lo que utilizaban los

4.2 Piranómetro de primera clase.

Mide de forma precisa la radiación solar global incidente sobre la superficie de la Tierra. Está especialmente diseñado para cumplir con la norma ISO 9060 y con las directrices establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (ver Figura 13). (DARRERA, 2020)

Figura 13.

Piranómetro de primera clase.



Nota: Sensor de radiación solar Global que se aplica en observaciones generales de alta precisión (DARRERA, 2020)

4.3 Sensor de temperatura tipo PT1000

Las termorresistencias (RTD en sus siglas inglesas) son dispositivos populares de medición de temperatura debido a su confiabilidad, precisión, versatilidad, repetibilidad y facilidad de instalación. El principio básico de un RTD es que su sensor de cable, hecho de un metal con una resistencia eléctrica conocida, cambia su valor de resistencia a medida que la temperatura sube o baja. Aunque las termorresistencias tienen ciertas limitaciones, que incluyen una temperatura de medición máxima de alrededor de 1,100 ° F (600 ° C), en general, son la solución de medición de temperatura ideal para una multitud de procesos. (Serena, 2022)

4.4 Calibrador de temperatura

Un calibrador de temperatura, muchas veces llamado calibrador de termómetro se utiliza para eliminar las imprecisiones en los termómetros y sensores de temperatura instalados, debido a que la medición de temperaturas es un parámetro fundamental en muchos procesos industriales (ver Figura 14). (Fluke Corporation, 2022)

Figura 14.

Calibrador de temperatura.



Nota: Calibrador de temperatura Ametec Jofra modelo PTC-155 para sensores termopozo. (INSTRUMENTS, 2020)

4.5 Norma ISO9806-2017

ISO 9806:2017 especifica métodos de prueba para evaluar la durabilidad, confiabilidad, seguridad y rendimiento térmico de los colectores solares de calentamiento de fluidos. Los métodos de prueba son aplicables para pruebas de laboratorio y para pruebas in situ.

La norma ISO 9806:2017 es aplicable a todos los tipos de colectores solares de calentamiento de fluidos, colectores solares de calentamiento de aire, colectores solares híbridos que cogeneran calor y energía eléctrica, así como a los colectores solares que utilizan fuentes de energía externas para su funcionamiento normal y/o con fines de seguridad. (9806:2017, 2021)

Capítulo 3. Desarrollo.

3.1 Metodología.

En este trabajo se realizó la evaluación térmica de un deshidratador solar móvil con capacidad de 10 a 15 kg, con colector solar para calentamiento de aire integrado, Las pruebas se llevaron a cabo en el mes de diciembre con un horario de pruebas de 10:30 am hasta las 3:00 pm (cabe mencionar que se tiene 3 horas antes y después del mediodía solar que fue a la 12:22 pm).

3. 2 Montaje.

Para el montaje de los secadores solares móviles se lleva la siguiente serie de pasos.

1. Desembalar las piezas:

En este proceso se llevó a cabo el retiro del embalaje de cada uno de los componentes del secado solar, principalmente el colector solar y la cámara de secado las cuales son piezas delicadas debido al material de fabricación (ver Figura 15).

Figura 15.

Componentes del secador solar embalados para su previa instalación, mediante toma aérea.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Hueyapan Morelos, capturada mediante Drone; Propia (2022).

2. Ensamble de cámara de secado y soportes.

Una vez desempaquetada la cámara de secado se procede a colocarle los soportes los cuales van ensamblados mediante diferencia de diámetros, es decir, un diámetro interno de cada componente menor que el otro (ver Figura 16).

Figura 16.

Ensamble de la cámara de secado con los soportes para su fijación.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Hueyapan Morelos; Propia (2022)

3. Colocación del soporte central.

Para asegurar la fijación del secador y que este no tenga movimientos laterales se procede a instalar el soporte central el cual dará rigidez y mayor fuerza para soportar el peso del colector solar y la carga de materia prima (ver Figura 17).

Figura 17 .

Soporte central y cámara de secado ensamblada completamente.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Hueyapan Morelos; Propia (2022).

4. Ensamble de colector solar.

El colector solar es ensamblado en la ranura inferior del frente de la cámara de secado, de este modo el colector con la ayuda de dos soportes frontales se mantiene firme y sujetando el filtro en cual impedirá la entrada de aquellas partículas que pueda

contaminar las muestras a deshidratar. Cabe mencionar que el material filtrante es de 40 micrones con diferentes propósitos en este caso especial el filtrado del aire antes de entrar a la cámara de secado (ver Figura 18).

Figura 18.

Instalación del colector solar.



Nota: En la parte izquierda se puede apreciar la instalación del colector solar con la cámara de secado, mientras que en la parte derecha se aprecia el colector instalado y el elemento filtrante el cual es sujetado por las dos bases que se encuentran en la entrada del colector. **Fuente:** Instituto de Energías de la UNAM, Hueyapan Morelos, Propia (2022).

5. Orientación final.

Finalmente, armado el secador solar, se procede a colocar la orientación hacia el sur, de este modo el sur quedara de frente al secador mientras que el Norte quedara en la parte trasera del mismo (ver Figura 19).

Figura 19.

Secador solar ensamblado y orientado hacia el sur.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Hueyapan Morelos. Propia (2022)

3.3 Calibración de instrumentos.

Los sensores de temperatura que se utilizaron para la medición de los parámetros fueron previamente calibrados con la ayuda de un calibrador de temperaturas marca AMETEK JOFRA PTC-115 en cual nos ayuda a regular la temperatura dentro de un cilindro solido donde son introducidos los sensores (ver Figura 20).

Figura 20.

Calibrador de temperatura Jofra operando a 10 °C



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos, Propia (2022)

Con la ayuda del adquisidor de datos KEYSGHT modelo 349772a se pudieron obtener la medición de los ohms de cada uno de los sensores, de tal manera se realizaron 5 pruebas con diferente temperatura la primera prueba se realizó a 10 °C, la segundo a 30 °C, la tercera a 50 °C, la cuarta a 70 °C y la quinta a 90 °C.(ver tabla 1). Por consiguiente, el adquisidor recopila los datos, cuando la temperatura a la que se calibraron los sensores es la óptima teniendo como resultados 30 datos de los cuales se extrae el promedio con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel, obteniendo como resultado la siguiente tabla la cual muestra las temperaturas en grados Celsius y el promedio de medición de los 9 sensores, por lo cual se realizó 4 veces para tener el número suficiente de sensores calibrados para la instrumentación del secador solar. **Fuente:** Propia (2022).

Tabla 1.

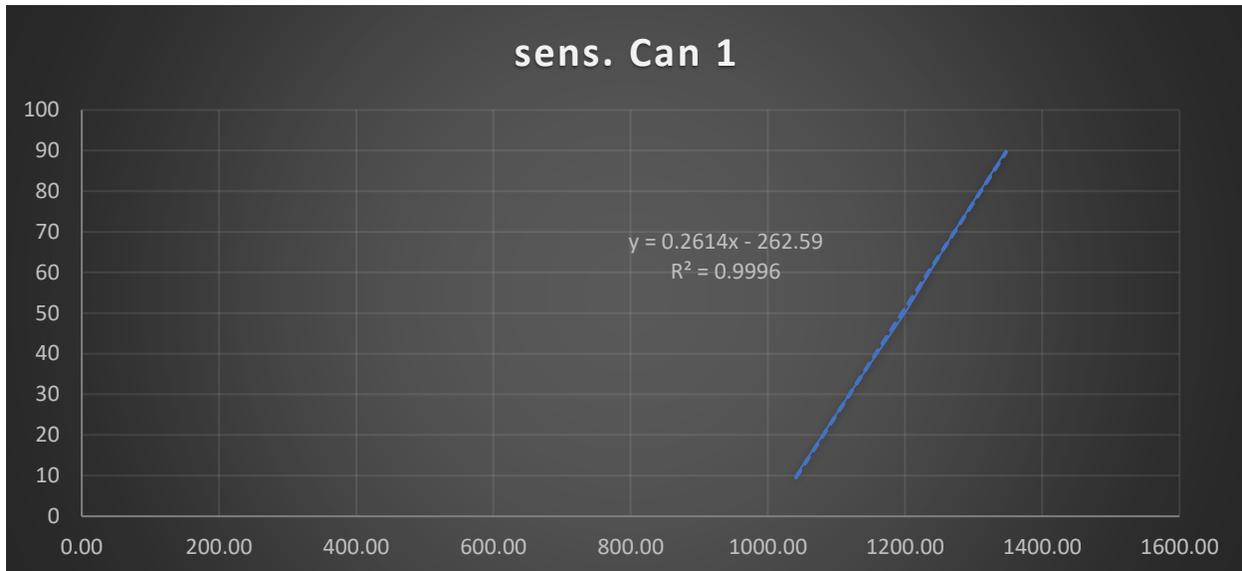
Promedio de las mediciones en ohms de cada sensor de temperatura de grados °C.

TABLA DE CALIBRACIÓN MEDIANTE EL USO DEL TERMOPOZO					
Temperatura	sens. Can 1	sens. Can 2	sens. Can 3	sens. Can 4	sens. Can 5
10	1041.15	1038.73	1041.70	1040.20	1039.59
30	1118.76	1116.16	1118.02	1117.77	1116.42
50	1200.00	1190.00	1190.00	1190.00	1190.00
70	1271.21	1269.56	1270.02	1271.61	1267.61
90	1347.27	1345.47	1345.40	1347.77	1344.03

Los siguientes datos son graficados por ejemplo en este caso se grafican teniendo así una regresión lineal de los datos del sensor 1 y la columna de temperaturas (ver Gráfica 1), como resultado se obtiene una ecuación característica del comportamiento del sensor y el valor de R cuadrada la cual nos indica que tan cerca están los datos de la línea de regresión, cuando R cuadrada se acerque más a 1 en términos de calibración el sensor será más preciso en la medición y tendrá poca variación.

Grafica 1.

Regresión lineal del promedio de calibración del sensor colocado en el Canal 1.



Nota: Se muestra la regresión lineal del sensor número 1, en esta grafica se muestra la ecuación características del sensor la cual nos servirá para el cálculo de la temperatura mediante el adquisidor de datos, de la misma forma muestra el valor de R cuadrada la cual es cercana a 1, dándonos la certeza que el sensor tendrá más precisión en las medidas. **Fuente:** Propia (2022).

3.4 Instrumentación

Con el fin de medir el rendimiento del sistema de secado, es necesario realizar una adquisición de datos de las diferentes variables y parámetros que están involucradas en este proceso, como variables principales se encuentra la temperatura, velocidad de aire y masa del producto y la radiación solar global.

Los instrumentos de medición usados durante las pruebas fueron 16 sensores de temperatura pt1000 ($\pm 0.5^\circ\text{C}$), 2 piranómetros kipp & zonen ($\pm 2\% \mu\text{w}/\text{m}^2$) de última generación, 2 medidores de humedad Omega OM-HL-SP-TH (precisión de humedad $\pm 5\%$ RH) y 1 termoanemómetro de aleta de 100 mm modelo 473b ($\pm 1.5\%$ de la lectura ± 0.1 m/s). Dentro de la instrumentación los

sensores de temperatura se colocaron en zonas estratégicas para poder medir el comportamiento de la temperatura a lo largo de la prueba, la distribución de los estos se llevó desde la entrada de aire en el colector, como en la salida, mientras que en la cámara de secado se montaron sensores de temperatura en cada una de las bandejas tratando de que estos no mantuvieran contacto con las bandejas de acero inoxidable para no tener cambios bruscos en las mediciones debido al contacto, en un último montaje, se colocaron dos más en las salidas de la cámara de secado para monitorear así por completo, la temperatura del aire frío, la salida del aire caliente, la temperatura promedio que mantiene la cámara de secado y la temperatura de salida de la misma (ver Tabla 2).

Tabla 2.

Distribución de los sensores de temperatura en el secador solar.

TARJETA	CANAL	SECADOR	POSICIÓN	POSICION DRYBOX
1	1	Vidrio	Cint Este	Entrada Colector E
	2	Vidrio	Cint Oeste	Entrada Colector OE
	3	Vidrio	Cout Este	Salida Colector E
	4	Vidrio	Cout Oeste	Entrada Colector OE
	5	Vidrio	Bandeja 1E	Bandeja 1E
	6	Vidrio	Bandeja 2E	Bandeja 2E
	7	Vidrio	Bandeja 3E	Bandeja 3E
	8	Vidrio	Bandeja 4E	Bandeja 4E
	9	Vidrio	Bandeja 5E	Bandeja 5E
	10	Vidrio	Bandeja 5OE	Bandeja 5OE
	11	Vidrio	Bandeja 4OE	Bandeja 4OE
	12	Vidrio	Bandeja 3OE	Bandeja 3OE
	13	Vidrio	Bandeja 2OE	Bandeja 2OE
	14	Vidrio	Bandeja 1OE	Bandeja 1OE
	15	Vidrio	OutCamEste	Salida Cámara Secado E
	16	Vidrio	OutCamOeste	Salida Cámara Secado OE

Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos; Propia (2022).

Con ayuda de un adquisidor de datos con tarjetas lectoras de ohm para medir la resistencia dentro de los sensores se utilizó la primera placa la cual se controla mediante el software Keysight Agilent Vee Pro dentro de la interfaz de análisis de datos en las cuales captura las mediciones y las entrega en pantalla (ver Figura 21).

Figura 21.

Adquisidor de datos Keysight modelo 34972A con capacidad de 3 tarjetas para capturar de parámetros.



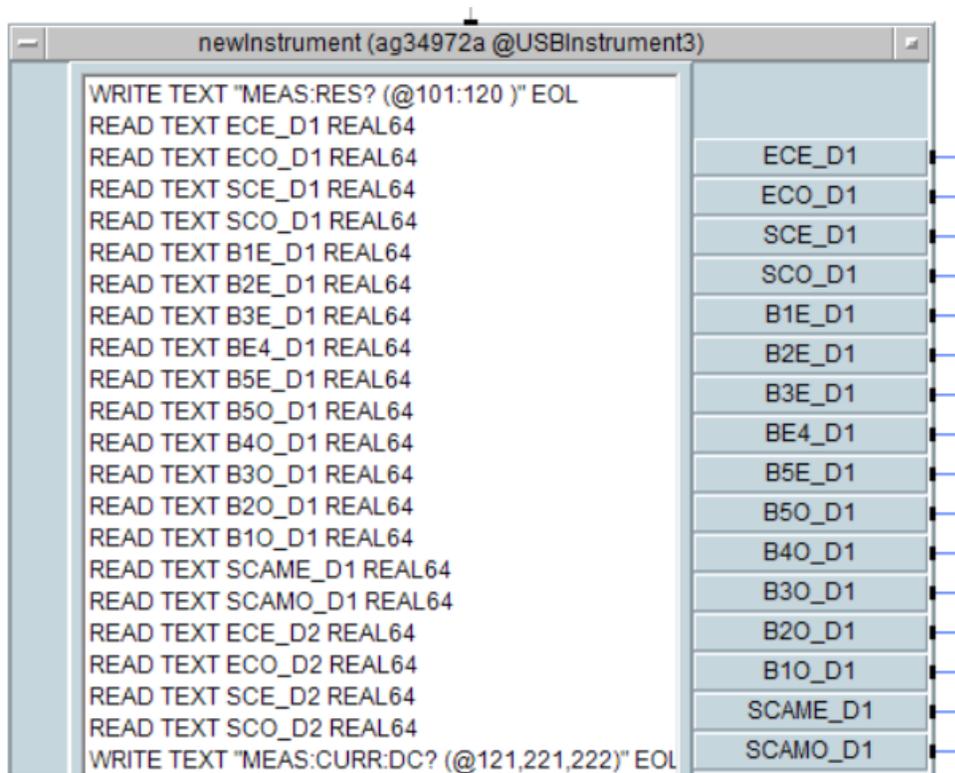
Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos; Propia (2022).

3.4 Interfaz del software.

Dentro de la programación del software Agilent Vee pro se realizó un panel en el cual se capturan todas las variables con sus respectivos nombres en este caso, nombrar a cada uno de los sensores de temperatura según la posición establecida dentro o fuera del secador solar (ver Figura 22). En este panel de entrada se colocan nombres claves para no saturar el panel principal cuando el programa se ponga en marcha. El secador solar para evaluar ocupó la tarjeta número 1 la cual contempla los canales de medidas más 100 por default, por lo que en la interfaz toman valores arriba de 100 con sus respectivos nombres asignados de lado derecho del panel de entrada.

Figura 22.

Interfaz de programación del software Agilent Vee Pro (Panel de entrada).

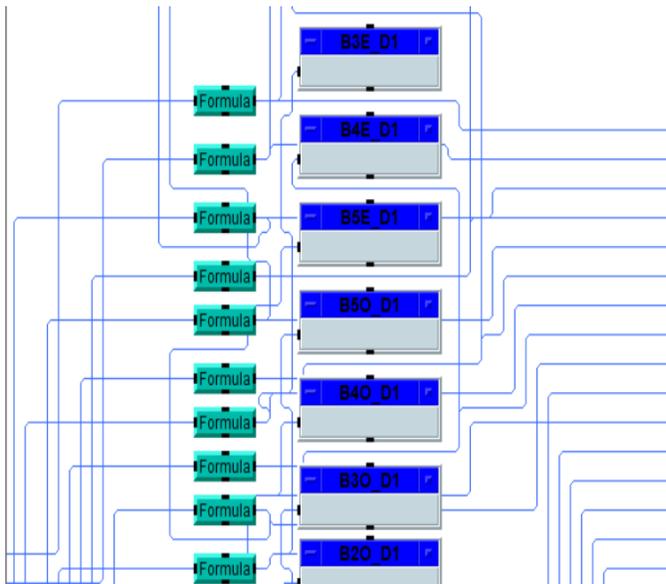


Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos; Propia (2022).

Con la ayuda del editor del programa se le asigna variables las cuales contendrán las fórmulas obtenidas mediante la regresión lineal del calibrado de los sensores de temperatura, en este caso fueron 16 sensores, los cuales fueron montados en el secador solar, además de ingresar las fórmulas, se presenta un cuadro de visualización el cual mediante un panel proyecta el nombre corto que se le asignó al sensor, estos cuadros mostraron el nombre del sensor y la temperatura que está midiendo en tiempo real, en un intervalo de cada 60 segundos (ver Figura 23 y 24); el programa mediante un panel de salida, puede exportar los datos medidos a un archivo de Excel.

Figura 23.

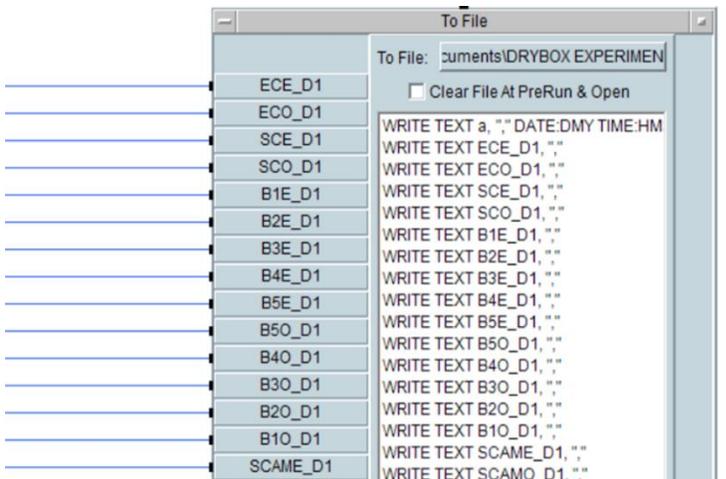
Interfaz central del software Agilent Vee Pro.



Nota: En la imagen se muestra el diagrama de programación que contiene la fórmula donde el adquisidor de datos procesa las variables y las presenta en un panel de proyección. **Fuente:** Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos, Propia (2022).

Figura 24.

Panel de salida de datos del programa Agilent Vee Pro.



Nota: Se muestra el panel de salida, en el cual los datos se guardan en columnas, tomando cada celda según sea su correspondiente nombre asignado, cada prueba es renombrada para que no

existan problemas en una nueva corrida del programa. **Fuente:** Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos , Propia (2022).

Una vez iniciado el código de programación, la interfaz muestra al usuario los cálculos de cada una de las variables y el valor que cada una de ella está tomando, según la adquisición y el procesamiento de datos (ver Figura 25).

Figura 25.

Panel de medición dentro del software Agilent Vee Pro.



Nota: En la figura se muestra el panel de medición del día 13 de octubre cuando el programa se compiló, dentro de este se puede apreciar iconos de color amarillo correspondientes a un secador móvil con capacidad de 10 a 15 kg. Secadores del tipo gabinete con colector para calentamiento de aire incluido, con un colector de cristal prismático, de color azul es el mismo secador con un colector de cristal prismático para repetir pruebas y comparar los datos; aparte de las temperaturas también se muestra la radiación solar de color rojo, la velocidad de aire medida por un anemómetro y la temperatura ambiente en color verde. **Fuente:** Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos, Propia (2022)

Al final del día, la prueba y el programa se detienen, el programa Agilent Vee Pro, crea un archivo con terminación “CSV”, el cual contiene los caracteres, en este caso las mediciones de

temperatura, radiación solar y velocidad de aire, el cual automáticamente se convierte en un archivo Excel para ser ejecutado y poder trabajar con los datos obtenidos, creando gráficas y tablas comparativas (ver Figura 26).

Figura 26.

Compilación de datos en una hoja de cálculo Excel obtenidos mediante el programa Agilent Vee Pro.

FECHA	Tem_inColecE_D1	Tem_inColecO_D1	Tem_OutColecE_D1	Tem_OutColecO_D1	Tem_B1E_D1	Tem_B2E_D1	Tem_B3E_D1	Tem_B4E_D1
22/10/2022 05:50	18.52	17.48	18.34	18.43	18.36	18.62	17.71	17.10
22/10/2022 05:50	18.48	17.44	18.36	18.45	18.37	18.63	17.72	17.11
22/10/2022 05:51	18.50	17.45	18.37	18.44	18.38	18.65	17.73	17.13
22/10/2022 05:51	18.49	17.48	18.36	18.44	18.39	18.66	17.74	17.14
22/10/2022 05:52	18.55	17.53	18.39	18.45	18.40	18.67	17.75	17.15
22/10/2022 05:52	18.52	17.47	18.39	18.50	18.40	18.65	17.76	17.16
22/10/2022 05:53	18.58	17.49	18.41	18.52	18.41	18.66	17.77	17.17
22/10/2022 05:53	18.55	17.46	18.41	18.54	18.43	18.69	17.79	17.18
22/10/2022 05:54	18.56	17.48	18.43	18.58	18.45	18.70	17.80	17.19
22/10/2022 05:54	18.60	17.49	18.46	18.59	18.45	18.70	17.81	17.20
22/10/2022 05:55	18.60	17.51	18.49	18.59	18.47	18.70	17.82	17.21
22/10/2022 05:55	18.75	17.65	18.50	18.62	18.48	18.74	17.83	17.22

Nota: El día 22 de octubre de 2022 se realizó una prueba en vacío, en la figura 26 se aprecian los valores capturados por el adquisidor, estos datos junto al panel del software nos ayudan a observar cómo se comporta la temperatura o si el sensor tiene contacto con superficie metálicas que puedan causar variaciones de temperatura. **Fuente:** Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022)

3.5 Características generales.

Los deshidratadores solares tipo gabinete con colector solar para calentamiento de aire debido a que son ligeros y fáciles de transportar en una pequeña camioneta, se pueden convertir en un equipo fundamental para la capacitación de pequeños productores en cualquier región del país, así como constituirse en equipos que se pueden llevar por temporada de cosechas a ciertos predios para realizar la deshidratación a pequeña escala comercial en el mismo sitio de la cosecha. Esto es factible debido a que aparte de ser fáciles de transportar y armar, son totalmente autónomos

integrando un panel solar fotovoltaico que alimenta un extractor de aire (ver figura 30), con lo que no necesitas electricidad para su uso, ni ninguna otra fuente de energía más que la solar.

Dentro de la evaluación de los secadores solares móviles con capacidad de 10 a 15 kg, secadores del tipo gabinete con colector para calentamiento de aire integrado se utilizó el modelo de la figura 18 el cual cuenta con las siguientes características (Tabla 3):

Tabla 3.

Características generales del deshidratador solar.

Modelo	Drybox
Capacidad nominal (kg)	10 a 15
Peso vacío(kg)	70
Espacio para instalación (Ancho x Largo x Alto)	139x200x127 cm
Embalaje gabinete (Ancho x Largo x Alto)	50x139x63 cm + colector MS 1.7
Cámara de secado (dm ³ , litros)	320
NO. De charolas	10 (63x43 cm por charola)
Área total de secado (m ²)	2.7
Materiales de la cámara de secado	Policarbonato, acero
Colector (Ancho x Largo x Alto)	MS 1.7 (120x159x9 cm)
Materiales del colector	Vidrio Prismático, Aluminio, superficie selectiva
Indicador	Medidores de humedad y temperatura
Circulación de aire	Convección natural/forzada
Tipo de secado	Mixto
Temperatura (°C)	50-70

Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022)

Figura 27.

Deshidratador solar para evaluar.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Hueyapan Morelos; Propia (2022).

En la figura 27 se puede apreciar el deshidratador solar con todos sus componentes externos montados en los cuales se aprecia en su parte frontal inferior la entrada de aire del colector con su respectivo filtro, la cámara de secado y un panel solar el cual alimenta el extractor de aire caliente.

Figura 28.

Parte interna de la cámara de secado.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022)

En la figura 29 se muestra como está conformada la cámara de secado en este caso se muestra la parte Este, la cual al igual que la parte Oeste, están conformadas por 5 bandejas de acero inoxidable haciendo un total de 10 bandejas, para la medición de temperatura implementan un medidor de y temperatura y humedad (ver Figura 31).

Figura 30.

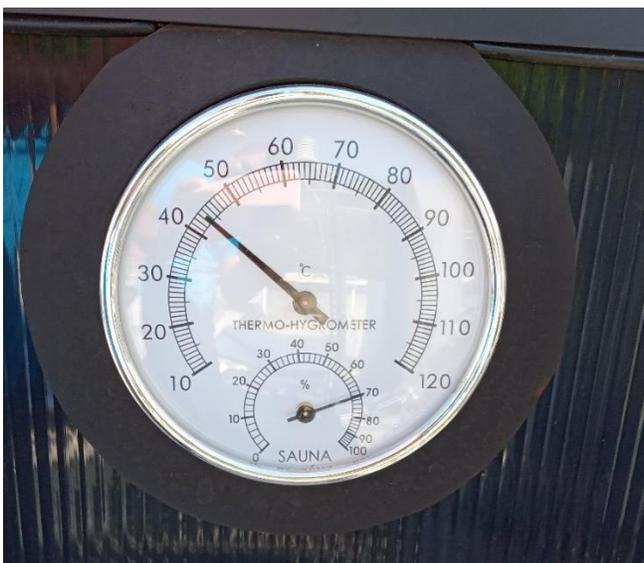
Panel solar fotovoltaico autónomo de 12 volts para alimentar el extractor de aire.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

Figura 31.

Medidor de temperatura y humedad integrado en una puerta del secador solar.



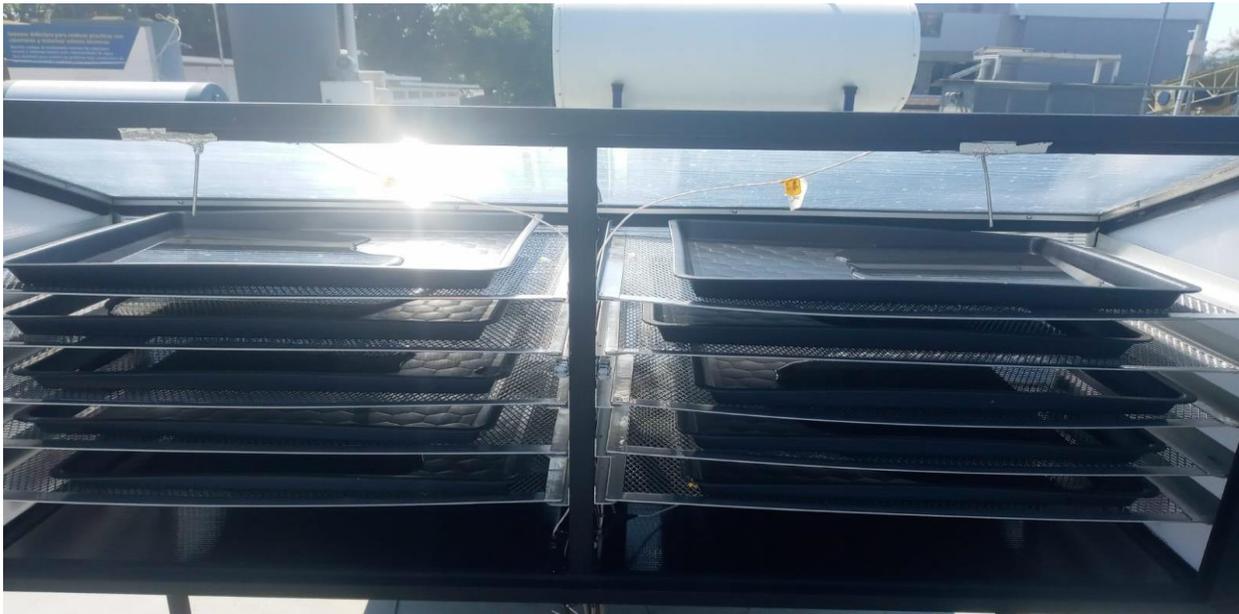
Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022)

3.6 Pruebas de secado.

Se realizaron dos pruebas del deshidratador solar, en este caso se obtuvieron mediciones desde las 10:30 am hasta las 2:30 pm, midiendo temperatura, la irradiancia, el flujo másico y la humedad, en estas pruebas el deshidratador fue llenado con charolas de plásticos las cuales contenían un volumen de 500 mililitros de agua en cada charola teniendo un volumen inicial de 5 litros en total (ver Figura 32).

Figura 32.

Charolas con agua.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022)

Capítulo 4. Resultados.

4.1 Análisis del colector solar día 1.

La temperatura ambiente y la radiación solar con una inclinación de 20° medidos cada 60 segundos correspondientes al día 9 de diciembre de 2022 desde las 10:10 hasta las 15:00 horas se muestran en las figuras 33 y 34. Los valores máximos de la radiación solar y la temperatura ambiente fueron 1108 W/m^2 y 30°C a las 14:00 h, respectivamente.

Figura 33.

Variación de la irradiancia solar el día 09 de diciembre del 2022.

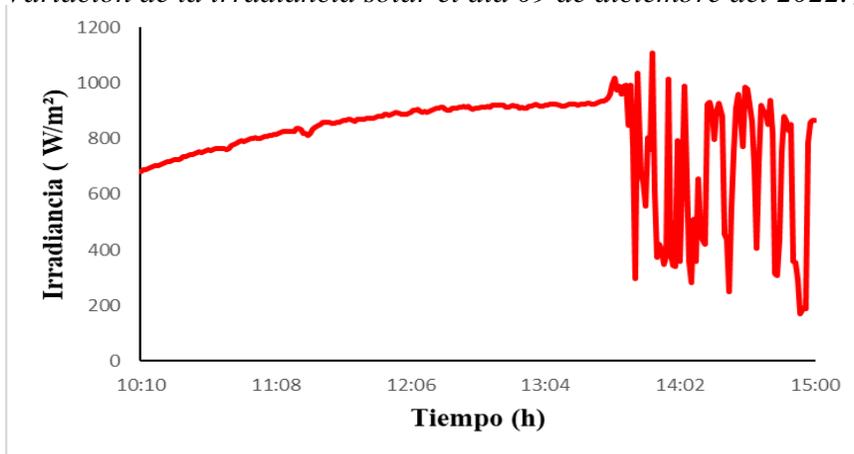
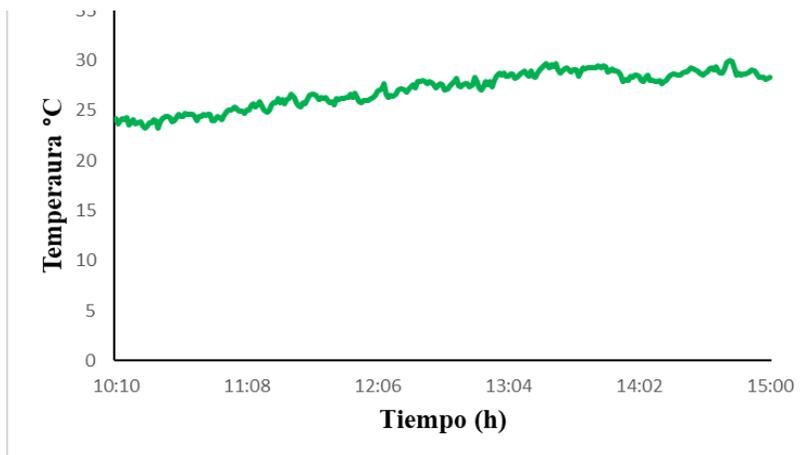


Figura 34.

Variación de la temperatura ambiente el día 09 de diciembre del 2022.



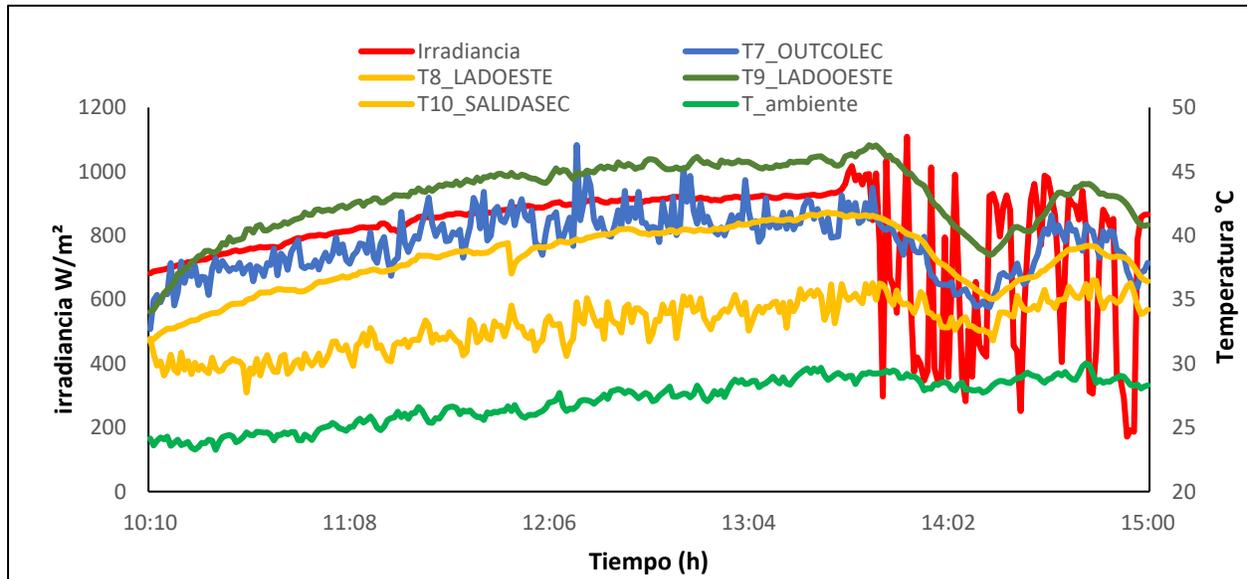
Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022)

En la figura 33 se muestra la energía útil proveniente del Sol por unidad de área (W/m^2) a lo largo de la prueba, el valor de la irradiancia medida varía de acuerdo a las condiciones climatológicas las cuales están ligadas al tiempo, de esta forma se aprecia que pasado el mediodía solar, los cambios son variantes de irradiancia teniendo bajas y altas mostradas en la figura, de la misma manera la irradiancia también afecta a la temperatura ambiente mostrada en la figura 34, de igual forma pasado el mediodía solar hay un descenso de temperatura, teniendo así un enfriamiento del aire el cual resta la eficiencia del colector solar.

Dentro de la prueba del día 9 de diciembre de 2022, se obtuvieron los siguientes resultados, con temperaturas entre 23°C y 30°C , con un flujo másico de aire del 0.0378 kg/s con las mediciones de temperatura e irradiancia global que se aprecian en la siguiente figura (ver Figura 35).

Figura 35.

Curvas de temperatura e irradiancia en pruebas.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

La eficiencia del colector se determinó mediante las ecuaciones (1), (2), (3). El valor promedio obtenida fue del 31 % de eficiencia.

$$\eta_{col} = \frac{\dot{Q}_{aire_cole}}{\dot{Q}_{colectores}} \quad (1)$$

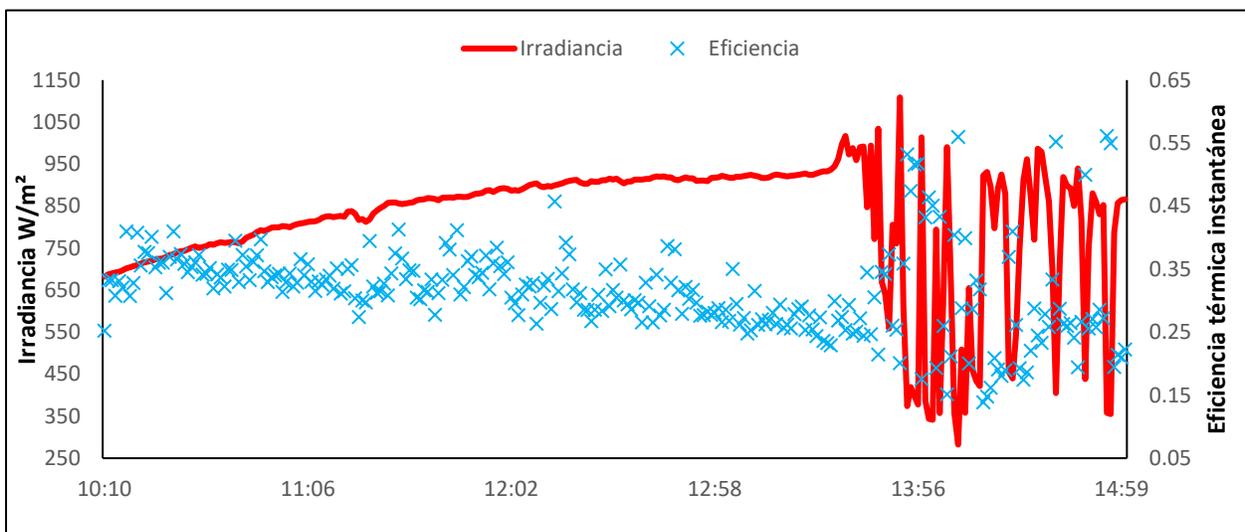
$$\dot{Q}_{aire_cole} = \dot{m}C_p(T_{10} - T_7) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{colectores} = GA \quad (3)$$

Dónde: \dot{m} es el flujo másico de aire (kg/s), C_p es el calor específico a presión constante (J/kg °C), G es la irradiancia instantánea (W/m²) y A es el área bruta del colector (m²).

Figura 36.

Eficiencia térmica instantánea del colector e irradiancia.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

La eficiencia promedio obtenida del colector fue de 31%, dicho comportamiento se aprecia a lo largo del día en la figura 36, donde se observan variaciones al final de la prueba por nubosidad, la cual interfiere en el rendimiento del colector del secador solar, por lo cual al presentar índices de radiación bajo el colector disminuirá el calentamiento de aire. Además de realizar el cálculo del rendimiento térmico del colector solar para el calentamiento de aire; se obtuvieron mediante la

prueba donde el secador solar se cargó con charolas con 500 ml de agua una eficiencia de secado del 20%. Esta eficiencia se obtuvo median la utilización de las siguientes fórmulas.

$$\eta_{col} = \frac{Q_{agua}}{Q_{colector} + Q_{tunelPo1} + Q_{tunelPo2} + W_{vent}} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{agua} = m_T Cp(T_{eva} - T_{inicial}) + m_e L \quad (5)$$

$$\dot{W}_{vent} = IVFt \quad (6)$$

Donde: m_T es la masa total de agua (kg), T_{eva} es la temperatura de evaporización (°C), $T_{inicial}$ es la temperatura del agua al inicio de la prueba (°C), m_e es la masa de agua evaporada (kg), L es el calor latente de evaporación del agua (J/kg), I es la corriente eléctrica (A), V es el voltaje (V) del ventilador y F es el factor de rendimiento del motor del ventilador, t (s) es el tiempo que duro la prueba.

Con la ayuda de un mapa de colores se interpretan la evaporación del agua en de cada una de las charolas teniendo de esta manera, la medición del liquido que ya no se evaporó, esta se muestra en la tabla 4.

Tabla 4.

Agua evaporada en mililitros con insolación: 14 MJ, Tamb promedio de 27°C.

B a n d e j a s		Posiciones	
		Este	Oeste
		1	2
1	284	259	
2	127	159	
3	102	108	
4	115	103	
5	119	110	

Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

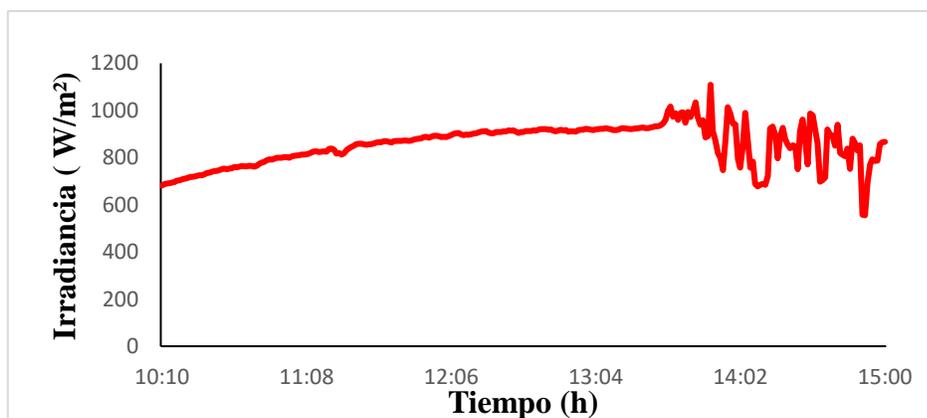
Al finalizar la prueba de secado con las charolas de agua, se midió el contenido de agua en cada una, esto para ver la cantidad de agua que se había evaporado durante el transcurso de la prueba, estos resultados se ven reflejados en la tabla 4, donde se observa el comportamiento del secador mediante un mapa de colores, el color rojo representa el sitio de la mayor evaporación (las charolas con más evaporación fueron las del subnivel 1 y 2 debido a que reciben radiación directa), el color amarillo representa un promedio de evaporación y el color verde representa donde menos agua se evaporó. Como resultado la cantidad total de agua evaporada fue de 1486 ml (1.486 l).

4.2 Análisis del colector solar día 2.

En una segunda prueba en otro deshidratador solar, la temperatura ambiente y la radiación solar con una inclinación de 20° medidos cada 60 segundos correspondientes al día 9 de diciembre de 2022 desde las 10:10 hasta las 15:00 horas se muestran en las figuras 37 y 38. Los valores máximos de la radiación solar y la temperatura ambiente fueron 1108 W/m^2 y 30°C a las 14:00 h, respectivamente. La radiación global del día de pruebas se grafico para apreciar el comportamiento en el transcurso del día (ver figura 37).

Figura 37.

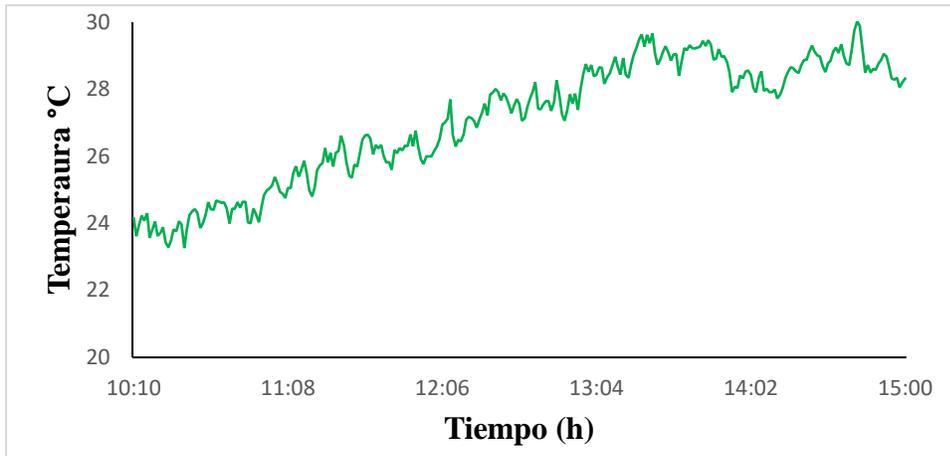
Variación de la irradiancia solar el día 9 de diciembre del 2022



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

Figura 38.

Variación de la temperatura ambiente el día 9 de diciembre del 2022.

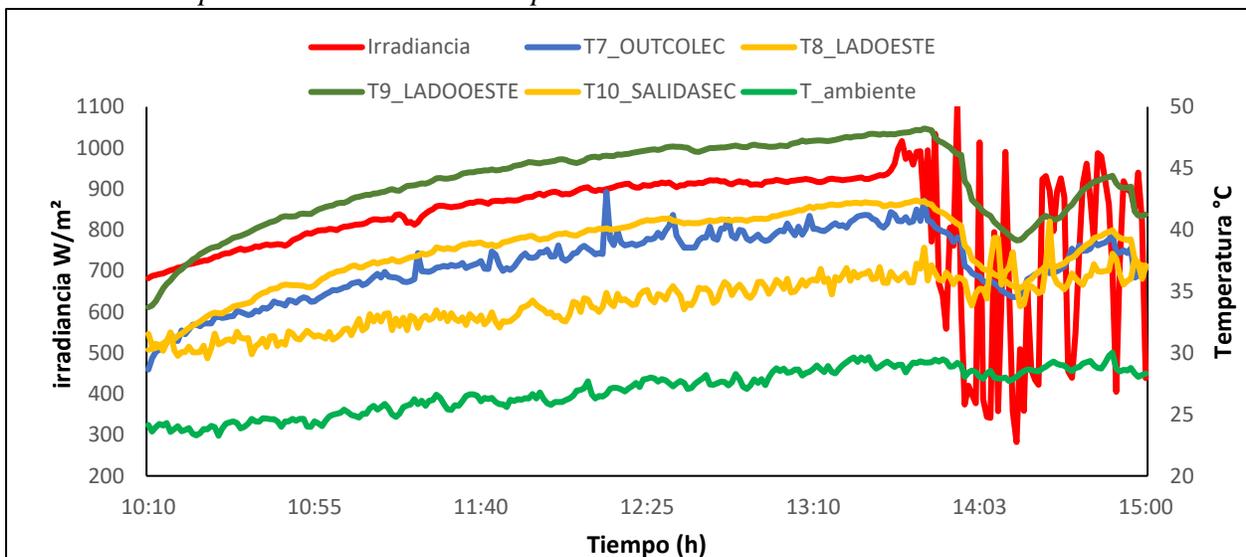


Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

Dentro de la prueba del día 9 de diciembre de 2022, se obtuvieron los siguientes resultados, con temperaturas entre 24°C y 30.8°C, con un flujo másico de aire del 0.0174 kg/s. El comportamiento de las temperaturas dentro del colector como la cámara de secado y de irradiancia global fueron graficadas para analizar su comportamiento (ver figura 39).

Figura 39.

Curvas de temperatura e irradiancia en pruebas.

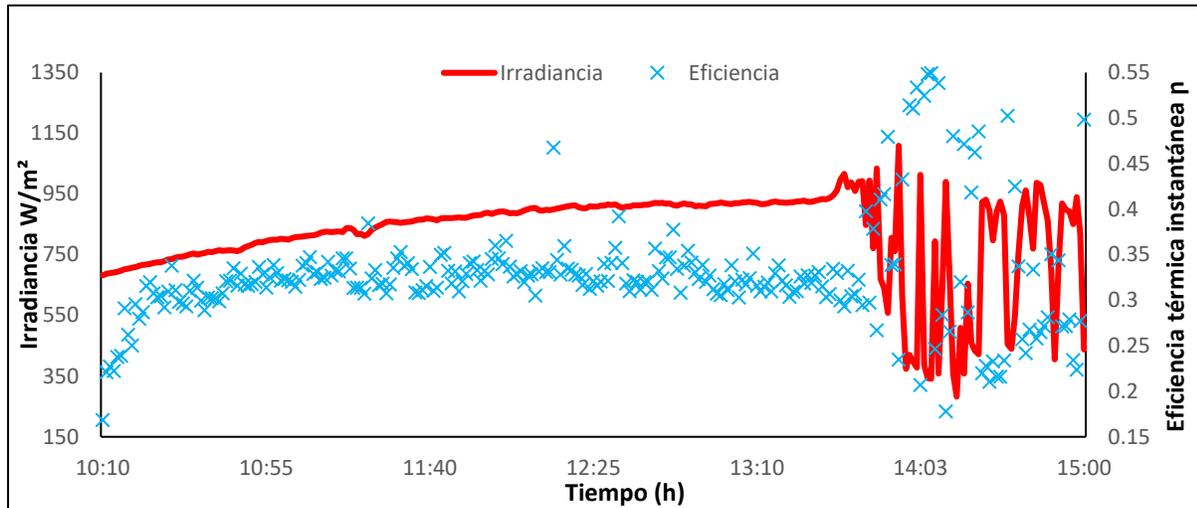


Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

La eficiencia del colector se determinó mediante las siguientes ecuaciones (1), (2), (3). El valor promedio obtenido fue 32 % de eficiencia.

Figura 40.

Eficiencia térmica instantánea del colector e irradiancia.



Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

La eficiencia promedio obtenida del colector fue de 32 %, dicho comportamiento se aprecia a lo largo del día en la figura 40, donde se observan variaciones al final de la prueba por nubosidad al igual que el día 8 de diciembre, la cual interfiere en el rendimiento del colector del secador solar, por lo cual al presentar índices de radiación bajo el colector disminuirá el calentamiento de aire.

Además de realizar el cálculo del rendimiento térmico del colector solar para el calentamiento de aire; se obtuvieron mediante la prueba donde el secador solar se sometió con charolas cargadas con 500 ml de agua una eficiencia de secado de 19.5%. Esta eficiencia se obtuvo usando las fórmulas (4), (5) y (6).

De igual forma se repitió la misma prueba con charolas de agua, con la ayuda de un mapa de colores dentro de la medición de cada una de las charolas teniendo de esta manera, la medición del líquido que ya no puede ser evaporado, esta se muestra en la tabla 5. En la tabla se aprecia el contenido de agua evaporada, teniendo una mayor cantidad de agua en la parte superior y dentro de

los subniveles se obtuvieron valores de evaporación más estables, teniendo aproximadamente bajos valores de vaporización (ver Tabla 5).

Tabla 5.

Agua evaporada en mililitros con insolación: 14 MJ, Tamb promedio de 27°C.

B a n d e j a s		Posiciones	
		Este	Oeste
		1	2
	1	338	398
	2	120	132
	3	125	165
	4	115	130
	5	130	150

Fuente: Instituto de Energías de la UNAM, Temixco Morelos Propia (2022).

Al finalizar la prueba de secado con las charolas de agua, se midió el contenido de agua en cada una, esto para ver la cantidad de agua que se había evaporado durante el transcurso de la prueba, estos resultados se ven reflejados en la tabla 5. Como resultado la cantidad total de agua evaporada fue de 1803 ml (1.803 l).

Como resultados finales de las pruebas de evaporación utilizando las charolas con 500 ml de agua, en el caso del día 9 de diciembre la evaporación fue menor al igual se presentaron variaciones mayores en temperatura e irradiancia, siendo esta última la de mayor importancia, a diferencia de la prueba realizada en otro deshidratador la temperatura fue constante y la irradiancia no presentó variaciones mayores, la eficiencia del colector y del secado disminuyeron, la irradiancia ayudó a la evaporización del fluido aun así los valores de eficiencia se ven reflejados como inferiores a los de la prueba 1 . El colector y la eficiencia de secado son adecuados para implementar el secado solar de alimentos.

4.2 Conclusiones.

Se realizó el montaje y la evaluación de secadores solares móviles con capacidad de 10 a 15 kg, secadores solares del tipo gabinete con colector solar para calentamiento de aire integrado, lo que permitirá aprovechar la merma frutícola que se presenta en la región donde se implementaron. La evaluación del equipo demuestra que se tendrán resultados favorables de secado, de igual forma la eficiencia de secado será favorable a tal grado de que el producto no tenga afectaciones por el exceso de temperatura dentro de la cámara de secado.

El deshidratador solar está construido con materiales ligeros, con una buena transmitancia a la radiación solar y que actúa a su vez como aislante térmico con efecto de invernadero, además de contar con un colector solar para calentamiento de aire integrado lo que hace que este sistema pueda tener un secado mixto de los productos agropecuarios. Puede ser un secado mixto que utiliza tanto los rayos de sol directo sobre el producto en conjunto con el apoyo del calentamiento de aire por parte del colector solar o bien un secado indirecto donde únicamente se usa aire caliente del colector (protegiendo de esta manera al producto de los rayos del sol) para productos donde el color o propiedades puedan ser degradados por los efectos de exposición directa del producto a la radiación solar.

El diseño utilizado de los deshidratadores tipo gabinete con colector solar para calentamiento de aire integrado se han seleccionado para que se puedan armar y trasladarse fácilmente por los productores, en caso de ser necesario, para instalarse en sus huertos y hacer pruebas locales de deshidratación o bien para emplear estos equipos para dar cursos de capacitación en diferentes lugares o comunidades. Por su tamaño y la forma en que se arman y desarman pueden ser trasladados en una camioneta pequeña al lugar que se requiera.

4.3 Competencias Desarrolladas Y Aplicadas.

4.3.1 Talleres educativos e impacto en los educandos.

El día 29 de agosto de 2022 recibí una capacitación por parte de la maestra Rocío Cortez Popoca en la cual se nos adentró sobre el municipio indígena de Hueyapan Morelos, explicando cómo es su cultura, vestimenta y forma de vivir, principalmente la gran riqueza natural de producción frutícola y sus diversidades de hierbas aromáticas las cuales crecen de manera natural en el patio de sus casas y huertas, durante la explicación y el adentramiento imaginario que se nos brindó la maestra de acuerdo a su experiencia vivida dentro de los habitantes del municipio de Hueyapan Morelos, muestra cómo se deben manejar nuestras habilidades sociales, desde el escuchar, iniciar una conversación, saber formular una pregunta, dar las gracias y presentarse, forman la base de interactuar y poder comunicarte libremente. Para llevar a cabo sesiones educativas en las escuelas de nivel preescolar, primaria y secundaria; recibí un curso donde se abordaron temas de metodologías que se pueden aplicar en estos tres distintos niveles educativos, dentro de estos se encuentra la metodología cualitativa. (W) Marín Tamayo (2014) sustenta que Taylor (1987) hace referencia que la metodología cualitativa se refiere en su más amplio sentido a la investigación que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas habladas o escritas y la conducta observable. Gracias a la implementación de la metodología cualitativa y sus herramientas como la entrevista y cuestionario abiertos, grupos de participantes y observación al participante que en este caso fueron los educandos, se realizaron los materiales pertinentes con el lenguaje adecuado de acuerdo con el nivel educativo, en este caso primaria. Obteniendo como resultados un entendimiento y atención de los educandos, su participación, propuestas, consejos y sobre todo respuestas asertivas con temas como el sol y la tierra, el cuidado del medio ambiente, sabor y nutrición, aplicaciones de la energía y el secado solares siendo este último el que genero

gran impacto. El inicio presencial de las capacitaciones ante los educandos de nivel primaria, era el comienzo de una conexión de información muy importante, mantener la atención de los educandos es una muy importante, debido a esto el material elaborado contiene partes interactivas las cuales llaman la atención a educandos de 10 años de edad, teniendo así una buena comunicación, preguntas y respuestas, historias comentadas por los propios niños y niñas, la diversidad de frutas y su conocimiento que tiene en este caso tiempo de siembra, temporada entre otras. Una herramienta importante implementada seguidas las capacitaciones es la investigación acción. (Vidal Ledo, 2007) mencionan que la investigación-acción es una forma de investigación que permite vincular el estudio de los problemas en un contexto determinado con programas de acción social, de manera que se logren de forma simultánea conocimientos y cambios sociales. Con la implementación de estas herramientas las capacitaciones posteriores fueron de gran ayuda, conociendo su interacción cultural, social y natural, y el acercamiento a las necesidades de la comunidad en este caso las mermas de frutas, todas las tarea planteadas fueron de forma didáctica, esto debido a que (Aguilar, 2007) sustenta que Donalson (1978) considera que las instrucciones no tiene sentido para los niños, que tiene que decodificar lo que el investigador les dice antes de resolver la tarea. Cuando se presentas las tareas en términos amigables, los resultados muestran que los niños son más competitivos en cada etapa. El tema principal es el deshidratado o secado solar de frutar para darle una nueva presentación a la merma que existe en el municipio y de tal forma compartir con los alumnos el proceso que conlleva, para esto se realiza una sesión interactiva, simulando los pasos a una menor escala, en esta sesión se explicó la forma de vestir usada en un laboratorio, los pasos desde saber seleccionar la fruta, lavarla, secarla, en que influyen el grosor de las rebanadas y como se deben colocar para un correcto secado. Con ayuda de secadores solar y fruta deshidratada se les mostro el producto final, pasaron a probar la fruta, todos

se sorprendieron de como la fruta no pierde ninguna de sus propiedades y sigue con su mismo sabor.

4.3.2. Instrumentación de equipos.

Los equipos entregados a los productores de Hueyapan Morelos, tal fue el caso de 4 secadores solar tipo gabinete y 1 túnel de secado autónomo, fueron sometidos a pruebas y evaluaciones mediante tecnología de última generación esto para asegurar su correcto funcionamiento y tener una mayor eficiencia en su trabajo, durante el secado solar; como paso fundamental de probar técnicamente los secadores solares, se procedió a usar instrumentos de medición y recopilación de datos, es este paso aprendí a calibrar los sensores de temperatura Tipo PT1000, con ayuda de un estabilizador de temperatura o también llamado Termo pozo, la calibración es fundamental para tener mediciones con mínimos errores, esta calibración duró alrededor de 3 días debido a la exactitud con la que se debe realizar el proceso, estos para medición de temperaturas, para medir la radiación incidente se utilizaron piranómetros, sensores de humedad además de anemómetros para medir velocidad de aire. Una vez calibrados los sensores de temperatura con ayuda de la hoja de cálculo Excel se calcularon las fórmulas, las cuales son llevadas por medio de programación al software Agilent Vee Pro (Pro, 2018) donde aprendí la interfaz del programa, así como programar para que los datos medidos se guardaran en un archivo para después ser procesado. Todos los instrumentos se procedieron a montar dentro y fuera de los secadores, fueron 4 días en la instrumentación para poder corroborar en cual posición deben ir montados para una mejor medición según fuera su función, en los secadores tipo gabinete se instalaron 16 sensores de temperatura en cada uno y en el de tipo túnel se instalaron 6 sensores, para medir irradiancia se ocuparon solo 2 piranómetros.

Fuentes de información.

- (s.f.). Geometria Solar :
https://wiki.ead.pucv.cl/images/c/ca/Clase_Helioid%C3%B3n_Magister_N%C3%A1utico_y_Mar%C3%ADtimo.pdf
- 9806:2017, I. (29 de Octubre de 2021). <https://www.iso.org/standard/67978.html>
- Aguilar, M. A. (2007). Tratado de psicología social perspectivas socio culturales. El niño y su entorno.
- Almanza, R. (31 de Marzo de 2016). https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/DiccionarioSolar_31_03_2016.pdf
- Barragan, S. (1 de Julio de 2019). Mexico desconocido. <https://www.mexicodesconocido.com.mx/ruda.html>
- Bautista Carrascosa, M. (28 de Julio de 2016). áculo de la radiación solar extraterrestre en función de la latitud y la declinación solar. Universidad Politecnica de Valencia : <https://riunet.upv.es/handle/10251/68296>
- Bienestar, S. d. (13 de Noviembre de 2013). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/se-desperdician-mas-de-diez-mil-toneladas-de-alimentos-cada-ano-en-mexico>
- Channel, T. W. (23 de Diciembre de 2017). Weather.com. <https://weather.com/es-ES/espana/tiempo/news/2017-12-23-albedo-calentamiento-global-sol>
- Cockshull, K. (1989). Solar Energy. En K.E.Cockshull.
- Consumidor, P. G. (16 de Junio de 2022). Gobierno de México: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/evita-el-desperdicio-de-alimentos?state=published>

DARRERA. (22 de Mayo de 2020). <https://www.darrera.com/wp/es/producto/lppyra02-piranometro-primera-clase/>

Ecohortum. (s.f.). Como cultivar ruda . Retrieved 28 de Septiembre de 2022, from <https://ecohortum.com/como-cultivar-ruda/>

educación, M. d. (20 de Septiembre de 2022). Educación, Instituto de Tecnologías. Física de la radiación: https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/2_fsica_de_la_radiacin.html

Eficiente, A. (8 de Marzo de 2014). Radiacion directa, difusa y reflejada: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

electricidad, S. (12 de Diciembre de 2021). Profesionales en electricidad : <https://www.sectorelectricidad.com/36130/angulos-solares-y-su-importancia-para-el-diseno-de-sistemas-fotovoltaicos/>

Energía, C. N. (20 de Julio de 2017). Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/la-energia-solar-que-es-la-energia-solar?state=published>

Energía, F. (18 de Junio de 2021). <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>

Espinoza, X. P. (Mayo de 2012). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SECADORA HIBRIDA PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL PROCESO DE SECADO DEL CACAO.
http://villahermosa.tecnm.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio_de_tesis_2014-2020/Tesis%20Klaribel%20Garcia%20Perez.pdf

ESTRATÉGICOS, S. (2020). Manual de contruccion y uso: Secador Solar . AYLLU SOLAR UNA INICIATIVA SERC CHILE , 4-7.

Fanlo, M., Melero, R., Moré, E., y Cristóbal, R. (2009). Cultivo de plantas aromáticas medicinales y condimentarias en Cataluña. Centre forestal, Tecnologic de Catalunya, 22-31.

FAO. (1991). El problema de la humedad,Tipos de secadoras, energía y combustión. <https://www.fao.org/3/x5028s/X5028S02.htm#:~:text=Secadoras%20flujo%20concurrente&text=De%20esta%20forma%20el%20aire,entrada%20y%20que%20descienda%20r%C3%A1pidamente>.

FAO. (28 de Noviembre de 2011). <https://www.fao.org/news/story/es/item/95186/icode/>

Fazal, M. K. (2021). Renewable Energy Conversion Systems. Print Book & E-Book.

Fluke Corporation. (2022). Fluke meditation. <https://la.flukecal.com/temperature/industrial-calibrator-selection-guide#:~:text=Un%20calibrador%20de%20temperatura%2C%20muchas,fundamental%20en%20muchos%20procesos%20industriales>.

Forbes, S. (9 de Febrero de 2021). Contaminación por combustibles fósiles causa una de cada cinco muertes prematuras en el mundo: estudio. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/contaminacion-por-combustibles-fosiles-causa-una-de-cada-cinco-muertes-prematuras-en-el-mundo-estudio/>

Futura, E. (8 de Junio de 2010). <https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-extraer-de-la-radiacion-solar/>

Future, M. R. (31 de Mayo de 2022). Globe News Wire. <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/05/31/2452903/0/en/Dehydrated-Fruits-Vegetables-Market-to-Cross-USD-37-89-Billion-by-2030-at-5-50-CAGR-Report-by-Market-Research-Future-MRFR.html>

Gardiner, B. (3 de Junio de 2022). outdoorapothecary. Retrieved 22 de Sentiembre de 2022, from <https://www.outdoorapothecary.com/lemon-balm-plant/>

- Geographic, N. (4 de Febrero de 2022). National Geographic:
<https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- Gobierno de México, I. Y. (s.f.). INECOL.MX. Retrieved 23 de Septiembre de 2022, from
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/planta-del-mes/37-planta-del-mes/1323-ruda>
- IDAEM. (s.f.). Radiación Solar: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Instrumens, F. P. (s.f.). <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/what-emissivity%3F#:~:text=La%20emisividad%20es%20la%20medici%C3%B3n,de%20temperatura%20con%20su%20entorno.>
- INSTRUMENTS, A. (2020). <https://www.itm.com/product/ametec-jofra-ptc-155-series-professional-temperature-calibrator>
- Instruments, O. (s.f.). <https://mx.omega.com/prodinfo/adquisicion-de-datos.html#:~:text=Los%20sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20de,est%C3%A1%20ejecutando%20adquisici%C3%B3n%20de%20datos.>
- Jardon, D. P. (2021). Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para papel prensado.
- Juana Mondragón Pichardo, H. V. (25 de Octubre de 2004). CANABIO. (Comision Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad) Retrieved 22 de Septiembre de 2022, from
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/chenopodium-ambrosioides/fichas/ficha.htm>
- Katja. (s.f.). PLANTURA MAGAZINE . Retrieved 22 de Septiembre de 2022, from
<https://plantura.garden/uk/herbs/lemon-balm/lemon-balm->

- Luis Eduardo García, M. F. (2012). Design and building of solar dryer equipment for tropical fruits. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 9, 11.
<https://doi.org/file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-DisenoyConstruccionDeUnDeshidratadorSolarDeFrutosT-6684847.pdf>
- M Sc. Ronald Andión Torres, D. J. (2012). Evaluación experimental de un secador solar tipo Gabinete para el secado de hollejo de naranja. *Scielo*, 32(2), 5.
https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000200010
- M. Ibanez-Porras, J. B.-R.-A. (2005 de Mayo de 5). *Scielo*:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v52n1/v52n1a7.pdf>
- Magem, J. B. (2000). <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>
- Mahesh Kumar, S. K. (2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *ELSIVIER* , 346-360.
- Manzo, A. (31 de Julio de 2022). La geometría solar: <https://posgradosadistancia.com.ar/cuales-son-los-principios-de-geometria-solar/>
- Marie-Elisabeth Cuvelier*, H. R. (1996). Antioxidative Activity and Phenolic Composition of Pilot-Plant. *Journal of Americam Oil Chemical Society*(73), 645-665.
- Martínez y Azpeitia, A. T. (2015). *Prontuario Solar de México*, 6(6), 17.
[https://doi.org/http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-\(noviembre-de-2015\)_6.pdf](https://doi.org/http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-(noviembre-de-2015)_6.pdf)
- Martinez, M. (1990). *Las Plantas medicinales de Mexico*. Mexico D.F: Botas.
- Medicamentos Herbarios Tradicionales. (s.f.). Retrieved 23 de Septiembre de 2022, from <https://www.minsal.cl/portal/url/item/7d9a8480e07f1613e04001011e01021b.pdf>

- Meléndez, R. (26 de Enero de 2019). EL BIERZO DIGITAL:
<https://www.elbierzodigital.com/que-es-la-declinacion-solar/273197>
- Mella, N. V. (22 de Septiembre de 2005). Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA. Aplicación a la península Ibérica Open Access . pág. 149.
- Microsoft. (2010). <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca#:~:text=Excel%20es%20una%20herramienta%20muy,la%20cuadr%C3%ADcula%20de%20las%20celdas>.
- Moran y Jara, M. M. (2 de julio de 2020). Desarrollo sostenible.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- OMEGA. (2022). <https://mx.omega.com/prodinfo/anemometros.html>
- Pereira, G. M. (2018). En Modelado, simulación y caracterización de un secador solar para estudiar la cinética de secado de productos agrícolas en Tabasco. (pág. 7).
- Pilatowsky y Valladares, I. F. (2017). Componentes y materiales. En O. G. Figueroa, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial. (págs. 55-59).
- Portillo, G. (3 de Septiembre de 2020). Meteorología en Red:
<https://www.meteorologiaenred.com/tipos-de-radiacion-solar.html>
- Pro, K. V. (2 de 11 de 2018). IER UNAM.
- Puebla, U. d. (s.f.). UDELAP.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_m_b/capitulo4.pdf
- Ramírez, M. A. (2007). Secadores Industriales. COMPARACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE SECADO HORIZONTAL Y VERTICAL, 79.

rural, S. d. (2018 de Junio de 20). Gobierno de México . Retrieved 22 de Septiembre de 2022, from <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/hierba-olorosa-y-sabrosa-es-el-epazote#:~:text=Dentro%20de%20sus%20propiedades%20medicinales,la%20producci%C3%B3n%20de%20leche%20materna.>

Rural, S. d. (16 de Abril de 2017). Gobierno de México . Retrieved 23 de Septiembre de 2022, from <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/del-mediterraneo-llego-el-romero-a-nuestras-mesas>

Rural, S. d. (18 de Julio de 2018). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/hierbas-aromaticas-y-especias-un-toque-de-sabor>

Saber Chemkhi, F. Z. (2004). Drying of agricultural crops by solar energy. ELSIVIER , 168(15), 101-109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.174>

Secretaria del bienestar. (13 de 11 de 2013). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/se-desperdician-mas-de-diez-mil-toneladas-de-alimentos-cada-ano-en-mexico#:~:text=En%20frutas%20y%20verduras%20las,porcentaje%20de%20p%C3%A9rdida%20de%209.4.>

Serena, D. (8 de Agosto de 2022). Instrumentacion.com. <https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/qu-diferencia-hay-entre-un-sensor-pt100-y-un-pt1000/>

SHN. (17 de Septiembre de 2022). Servicio de hidrografia Naval: <http://www.hidro.gov.ar/observatorio/InformacionAstronomica.asp?op=5>

Solar, I. C. (13 de Noviembre de 2021). <https://calorsolar.mx/tecnologias/>

- Soluciones Industriales, R. C. (2014). Adquisición de datos Keysight Technologies 34972A de 20.
<https://es.rs-online.com/web/p/adquisicion-de-datos/7027958>
- SUNY. (2020). <https://eco-nsciencia.jimdofree.com/>
- Tania Vázquez, S. A. (1997). Manual del Secado Solar Técnico de alimentos.
- Technologies, K. (8 de Febrero de 2021). <https://es.rs-online.com/web/p/adquisicion-de-datos/7027958>
- Torres., G. L. (2011). Secadores Solares. En Diseño construcción de un secador solar por conveccion de aire caliente automatizado de pueña escala, para el secado de café para la Universidad Nacional de Loja (Tesis de grado) (págs. 44-50). Loja, Ecuador .
- UNAM. (2020). Unidad de Ecotecnologías de la UNAM.
<https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2#:~:text=Ya%20que%20han%20sido%20deshidratados,econ%C3%B3mico%20para%20peque%C3%B1os%20productores%20hortofrut%C3%ADcolas>.
- UNEP, P. d. (4 de Marzo de 2021). Indice de desperdicios de alimentos 2021:
<https://www.unep.org/es/resources/informe/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021>
- Valladares, O. G. (2020). Otras tecnologías termosolares existentes. En O. G. Valladares, Sistemas de calentamiento solar de agua. (pág. 18).
- Valles, K. P. (2006). Evaluación de la operación de un secador solar para productos alimenticios rurales. (Tesis de grado). 12-24.
- Vidal Ledo, M. y. (2007). Investigación-Acción. Educación Media Superior , 21(4).
https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412007000400012&lng=es&tlng=es

W, M. T. (s.f.). La investigación participativa: una realidad alternativa para la investigación en ciencias sociales.